

Polysomnographische Untersuchungen zum Schlafverhalten von Fohlen

von Antonia Zanker

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

**Polysomnographische Untersuchungen zum
Schlafverhalten von Fohlen**

von Antonia Zanker
aus Thalfingen

München 2020

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und
Tierhaltung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael Erhard

Mitbetreuung durch Dr. Anna-Caroline Wöhr

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Michael H. Erhard

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Tag der Promotion: 25. Juli 2020

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG.....	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Allgemeines zum Schlaf.....	3
1.1.	Polysomnographie.....	3
1.1.1.	Elektroencephalographie	3
1.1.1.1.	Frequenzbereiche.....	3
1.1.1.2.	Amplitude	4
1.1.1.3.	Graphoelemente.....	4
1.1.2.	Elektrookulographie.....	5
1.1.3.	Elektromyographie.....	5
1.2.	Schlafstadien.....	5
1.2.1.	Einteilung der Schlafstadien	5
1.2.2.	Wachzustand.....	7
1.2.3.	Non-REM-Schlaf.....	7
1.2.3.1.	Stadium N1.....	7
1.2.3.2.	Stadium N2.....	7
1.2.3.3.	Slow-Wave-Sleep (Stadium N3 und Stadium N4)	8
1.2.3.4.	REM-Schlaf	8
1.3.	Schlafarchitektur.....	9
2.	Schlafverhalten adulter Pferde	10
2.2.	Polysomnographie bei adulten Pferden	11
2.2.1.	Wachzustand.....	12
2.2.2.	Leichtschlaf	13
2.2.3.	Slow-Wave-Schlaf	13
2.2.4.	Rapid-Eye-Movement-Schlaf	13
2.3.	Quantitative Verteilung der Schlafstadien	14
2.3.1.	Gesamtschlafenszeit	14
2.3.2.	Ruheverhalten der Pferde.....	14
2.3.3.	Leichtschlaf	14
2.3.4.	Slow-Wave-Schlaf	15
2.3.5.	REM-Schlaf	15
2.4.	Schlaffragmentierung.....	16
2.5.	Ruheverhalten von Mutterstuten	16
2.6.	Körperlagen während der Schlafstadien	16
2.6.1.	Ruheverhalten im Stehen	17

2.6.2.	Wachzustand.....	17
2.6.3.	Leichtschlaf	17
2.6.4.	Slow-Wave-Schlaf	17
2.6.5.	REM-Schlaf	17
2.7.	Abhängigkeit von Körperlage und Gesamtschlafenszeit	18
3.	Schlafverhalten junger Individuen	19
3.1.	Fohlen	19
3.1.1.	Polysomnographie.....	19
3.1.1.1.	Wachzustand.....	20
3.1.1.2.	Non-REM-Schlaf.....	21
3.1.1.3.	REM-Schlaf	21
3.1.2.	Schlafverhalten im Tagesverlauf.....	21
3.1.3.	Schlafverhalten in Abhängigkeit von der Körperlage.....	21
3.1.4.	Schlafverhalten in Abhängigkeit des Alters	22
3.1.5.	Gehirnströme während der Sedation	22
3.1.6.	Gehirnströme unter Zwangsmaßnahmen.....	22
3.1.7.	Gehirnströme erkrankter Fohlen	22
3.2.	Kinder	23
3.2.1.	Polysomnographie.....	23
3.2.1.1.	Bestimmung der Schlafstadien	23
3.2.1.2.	Fetaler Schlaf	23
3.2.1.3.	Neonataler Schlaf	23
3.2.1.4.	Säuglings-Schlaf.....	24
3.2.1.5.	Kleinkinder-Schlaf.....	24
3.2.1.6.	Medizinischer Nutzen	25
3.2.1.7.	Graphoelemente.....	25
3.3.	Katzenwelpen.....	26
3.4.	Kälber	27
4.	Liegeverhalten	28
4.1.	Adulte Pferde.....	28
4.1.1.	Domestizierte Pferde	28
4.1.2.	Boxenhaltung	28
4.1.3.	Laufstallhaltung	29
4.1.4.	Freilebende Tiere	30
4.1.5.	Stuten mit Fohlen bei Fuß	31
4.1.6.	Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Uhrzeit.....	31
4.1.7.	Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Einstreu	32

4.1.8.	Liegeverhalten in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Fläche..	33
4.1.9.	Probleme beim Liegeverhalten	33
4.2.	Fohlen	34
4.2.1.	Tageseinteilung	34
4.2.2.	Stehverhalten	34
4.2.3.	Liegeverhalten.....	35
4.2.3.1.	Dauer der Liegephasen	36
4.2.3.2.	Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Uhrzeit.....	36
4.2.3.3.	Veränderungen des Liegeverhaltens mit zunehmendem Alter	36
4.3.	Liegeverhalten von Mutter und Fohlen zueinander	37
5.	Saugverhalten.....	39
5.1.	Beschreibung des Saugvorgangs	39
5.2.	Sinn des Saugvorgangs.....	40
5.3.	Körperpositionen während des Saugaktes.....	40
5.4.	Häufigkeit des Saugens.....	41
5.5.	Länge des Saugaktes.....	42
5.6.	Zusammenhang zwischen Saugverhalten und Menge der aufgenommenen Milch	43
5.7.	Verhalten der Fohlen gegenüber ihren Müttern während des Saugaktes	44
5.8.	Verhalten der Mutter während des Saugaktes	44
5.9.	Trinkverhalten von verwaisten Fohlen	46
III.	TIERE, MATERIAL UND METHODEN.....	47
1.	Untersuchungen	47
1.1.	Auswahl der Fohlen.....	47
1.2.	Haltungsbedingungen.....	48
1.3.	Messdauer.....	49
2.	Verwendete Geräte	49
2.1.	Polysomnograph.....	49
2.2.	Elektroden und Elektrodenkabel	51
2.3.	Zusätzliche Kameras und Videorekorder	51
3.	Durchführung der Messungen.....	52
3.1.	Vorbereitung der Fohlen	52
3.2.	Anbringung der Elektroden	52
3.3.	Starten der Messung	54
3.4.	Beenden der Messung.....	55

4.	Auswertung.....	55
4.1.	Analysesoftware	55
4.2.	Manuelles Auswerten der Daten	55
4.2.1.	Schlafstadien	55
4.2.2.	Körperlagen	56
4.2.3.	Zeiteinteilung	56
4.3.	Statistische Methoden	56
5.	Ethisches Statement	57
IV.	ERGEBNISSE	58
1.	Schlafverhalten.....	58
1.1.	Qualitative Bestimmung der Schlafstadien.....	58
1.1.1.	Wachzustand.....	58
1.1.2.	Leichtschlaf	59
1.1.3.	Tiefschlaf	61
1.1.4.	REM-Schlaf	63
1.2.	Quantitative Bestimmung der Schlafstadien	65
1.2.1.	Prozentualer Anteil der Vigilanzstadien	65
1.2.2.	Dauer der einzelnen Vigilanzstadien.....	68
1.2.3.	Häufigkeiten der einzelnen Vigilanzstadien.....	71
1.2.4.	Wachzustand.....	75
1.2.4.1.	Interindividuelle Unterschiede	76
1.2.5.	Leichtschlaf	77
1.2.5.1.	Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Leichtschlafphasen	78
1.2.6.	Tiefschlaf	79
1.2.6.1.	Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Tiefschlafphasen.....	80
1.2.7.	REM-Schlaf	81
1.2.7.1.	Interindividuelle Unterschiede	81
2.	Liegeverhalten	83
2.1.	Prozentualer Anteil der Körperlagen	83
2.2.	Dauer der Körperlagephasen.....	87
2.3.	Häufigkeiten der Körperlagen	90
2.4.	Stehen.....	94
2.5.	Brust-Bauch-Lage.....	96
2.6.	Seitenlage	98
2.7.	Liegeverhalten der Mutterstuten	100
2.7.1.	Verhalten der Fohlen während der Liegephasen der Mütter	102

3.	Abhängigkeit zwischen Schlafstadien und Körperlagen	104
3.1.	Anteil der vier Vigilanzstadien während der verschiedenen Körperlagen	
	104
3.1.1.	Seitenlage	105
3.1.1.1.	Interindividuelle Unterschiede	106
3.1.2.	Brust-Bauch-Lage.....	107
3.1.2.1.	Interindividuelle Unterschiede	107
3.1.3.	Trinken	107
3.1.3.1.	Interindividuelle Unterschiede	108
3.1.4.	Stehen.....	108
3.1.4.1.	Interindividuelle Unterschiede	108
3.2.	Anteil der Körperlagen während der vier Vigilanzstadien	109
3.2.1.	Wachzustand.....	110
3.2.2.	Leichtschlaf	111
3.2.3.	Tiefschlaf	112
3.2.4.	REM-Schlaf	112
4.	Trinkverhalten.....	113
4.1.	Gehirnströme während des Saugvorgangs.....	113
4.2.	Quantitative Bestimmung des Saugverhaltens	114
4.2.1.	Häufigkeit des Trinkens	115
4.2.1.1.	Interindividuelle Unterschiede	115
4.2.2.	Dauer der jeweiligen Trinkvorgänge	116
4.2.3.	Interindividuelle Unterschiede	117
V.	DISKUSSION	119
1.	Diskussion der Methodik	119
1.1.	Auswahl der Probanden	119
1.2.	Auswahl des Materials.....	120
1.3.	Durchführung der Messungen	121
1.4.	Auswertung der Messungen	123
1.4.1.	Frequenz-Analyse	123
1.4.2.	Artefakte	124
2.	Diskussion der Ergebnisse.....	126
2.1.	Schlafverhalten.....	126
2.1.1.	Qualitative Bestimmung der Vigilanzstadien der Fohlen	126
2.1.1.1.	Wachzustand.....	127
2.1.1.2.	Leichtschlaf	127

2.1.1.3.	Tiefschlaf	129
2.1.1.4.	REM-Schlaf	130
2.1.2.	Quantitative Bestimmung des Schlafverhaltens von Fohlen	131
2.1.2.1.	Prozentuale Verteilung der Schlafstadien	131
2.1.2.2.	Dauer der jeweiligen Vigilanzstadien	133
2.1.2.3.	Häufigkeiten der jeweiligen Vigilanzstadien	134
2.2.	Liegeverhalten	135
2.2.1.	Prozentualer Anteil der Körperlagen	135
2.2.2.	Dauer der Liegephasen	136
2.2.3.	Liegeverhalten im Vergleich zu adulten Pferden	138
2.2.4.	Liegeverhalten der Fohlen und Stuten zueinander	139
2.2.5.	Liegeverhalten der Mutterstuten	139
2.2.6.	Aufstehvorgang	140
2.3.	Abhängigkeit von Körperlagen und Vigilanzstadien	140
2.4.	Saugverhalten	141
2.4.1.	Gehirnströme während des Saugvorganges	141
2.4.2.	Quantitative Bestimmung des Saugverhaltens	142
3.	Ausblick	145
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	147
VII.	SUMMARY	149
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS	151
IX.	ANHANG	172
X.	DANKSAGUNG	176

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

α	Alpha
β	Beta
γ	Gamma
δ	Delta
θ	Theta
AASM	American Academy of Sleep Medicine, Amerikanische Akademie für Schlafmedizin
Abb.	Abbildung
BL	Brustlage
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa, ungefähr
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
DR	Drowsiness
EEG	Elektroenzephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
etc.	Et cetera, und die übrigen
et al.	Et alii/aliae/alia, und andere
evtl.	eventuell
g	Gramm
GLZ	Gesamtliegezeit
GSZ	Gesamtschlafenszeit
h	hour, Stunde
Hz	Hertz
inkl.	inklusive
kg	Kilogramm
LS	Leichtschlaf
m	Meter
m ²	Quadratmeter
M	Movement, Bewegung
mm	Millimeter
max.	maximal

Max.	Maximum
MD	Messdauer
min	Minute
Min.	Minimum
mind.	mindestens
msek	Millisekunde
n	Anzahl
N1	Schlafstadium, zum Leichtschlaf gehörend
N2	Schlafstadium, zum Leichtschlaf gehörend
N3	Schlafstadium, zum Leichtschlaf gehörend
Nr.	Nummer
NREM	non-rapid eye movement sleep
p	probabilitiy, Wahrscheinlichkeit
PC	Personal Computer
PD	Privatdozent/in
Pfd.	Pferd
PSG	Polysomnographie
REF	Referenziell
REM	rapid eye movement
rho	Spearman-Korrelationskoeffizient
R&K	Rechtschaffen und Kales
S	Stehen
s	Sekunde
s.	siehe
SEM	slow eye movements
SL	Seitenlage
STABW	Standardabweichung
Std.	Stunde
SWS	Slow-Wave-Sleep
Tab.	Tabelle
TB	Terra Byte
TS	Tiefschlaf
TM	unregistered trademark
USB	Universal Serial Bus
usw.	und so weiter
W	Wachzustand
WH	Widerristhöhe

z.B.	zum Beispiel
ZNS	zentrales Nervensystem
z.T.	zum Teil
µV	Mikrovolt
&	und

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Vergleich der Schlaf-Stadien-Bestimmung von Rechtschaffen&Kales (1968) und AASM (2007) nach Keenan und Hirshkowitz (2011)
Tabelle 2:	Schlafstadienbestimmung anhand von EEG, EOG und EMG nach Dreitz (2018)
Tabelle 3:	EEG-Frequenzen der Bandbereiche beim Pferd nach Williams et al. (2008)
Tabelle 4:	Zeitliches Auftreten von Frequenzbereichen und Graphoelementen in der Humanmedizin nach den AASM-Richtlinien nach Berry (2018)
Tabelle 5:	Dauer und Häufigkeiten verschiedener Aktivitäten vier Tage alter Fohlen nach Tateo et al. (2013)
Tabelle 6:	Übersichtstabelle der gemessenen Fohlen
Tabelle 7:	Unterteilung des 24-Stunden-Tages
Tabelle 8:	Prozentualer Anteil der jeweiligen Vigilanzstadien an der Gesamtmesszeit
Tabelle 9:	Durchschnittliche Dauer der einzelnen Vigilanzstadienphasen
Tabelle 10:	Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien
Tabelle 11	Interindividuelle Unterschiede in der Dauer und der Häufigkeit der Wachphasen
Tabelle 12	Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Leichtschlafphasen
Tabelle 13	Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Tiefschlafphasen
Tabelle 14:	Prozentualer Anteil der vier Körperlagen an der Gesamtmesszeit
Tabelle 15:	Durchschnittliche Dauer der jeweiligen Körperlagephasen
Tabelle 16:	Durchschnittliche Häufigkeit der jeweiligen Körperlagen

Tabelle 17:	Prozentualer Anteil der jeweiligen Vigilanzstadien an den einzelnen Körperlagen
Tabelle 18:	Prozentualer Anteil der jeweiligen Körperlagen an den Vigilanzstadien
Tabelle 19:	Unterschiede in der Häufigkeit der Trinkvorgänge bei den unterschiedlichen Fohlen
Tabelle 20:	Unterschiede in der Dauer der Trinkvorgänge bei den unterschiedlichen Fohlen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Frequenzbereiche des EEGs nach Blinowska et al. (2006)
Abbildung 2:	Elektrodenanbringungsschema für Fohlen der California-Davis-Universität nach Aleman et al. (2006)
Abbildung 3:	Polysomnograph SOMNOscreen™ der Firma SOMNOmedics
Abbildung 4:	Befestigung des Polysomnographens
Abbildung 5:	Anbringung der Elektroden (modifiziert nach Günter (2014))
Abbildung 6:	Schrittweise Anbringung der Elektroden, des Animalspolsters und des SLEEPZYS
Abbildung 7:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Wachzustandes eines Fohlens im Stehen
Abbildung 8:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Leichtschlafs eines Fohlens in Seitenlage
Abbildung 9a:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Leichtschlafs eines Fohlens in Seitenlage (übertragene Augenbewegungen)
Abbildung 9b:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Leichtschlafs eines Fohlens in Seitenlage (Schlafspindeln und K-Komplexe)
Abbildung 10:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens in Brust-Bauch-Lage
Abbildung 11:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens in Seitenlage
Abbildung 12:	Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens in Seitenlage mit Schlafspindeln
Abbildung 13:	Charakteristische Körperhaltung der Fohlen direkt nach dem Aufstehen aus einer Tiefschlafphase
Abbildung 14:	Polysomnographische Aufzeichnungen des REM-Schlafs bei einem Fohlen in Seitenlage
Abbildung 15:	REM-schlafähnliche Gehirnströme während des Kotabsatzes

Abbildung 16:	Prozentualer Anteil der einzelnen Vigilanzstadien an der Gesamtmesszeit
Abbildung 17:	Prozentualer Anteil der Vigilanzstadien im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 18:	Durchschnittliche Dauer der einzelnen Vigilanzstadienphasen
Abbildung 19:	Durchschnittliche Dauer der Vigilanzstadien im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 20:	Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien
Abbildung 21:	Häufigkeiten der Vigilanzstadien während des Tages und während der Nacht
Abbildung 22:	Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 23:	Prozentualer Anteil der vier Körperlagen an der Gesamtmesszeit
Abbildung 24:	Prozentualer Anteil der Körperlagen an der Gesamtmesszeit im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 25:	Durchschnittliche Dauer der jeweiligen Körperlagephasen
Abbildung 26:	Durchschnittliche Dauer der Körperlagephasen im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 27:	Durchschnittliche Häufigkeiten der jeweiligen Körperlagen
Abbildung 28:	Durchschnittliche Häufigkeiten der Körperlagen im Tag-Nacht-Vergleich
Abbildung 29:	Prozentualer Anteil der Körperlage „Stehen“ während drei Zeitabschnitten
Abbildung 30:	Prozentualer Anteil der Körperlage "Stehen"
Abbildung 31:	Durchschnittliche Dauer der Brust-Bauch-Lagephasen von während des Tagesverlaufs
Abbildung 32:	Durchschnittliche Länge der Seitenlagephasen
Abbildung 33:	Prozentualer Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit

- Abbildung 34:** Prozentualer Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit im Vergleich der Zeitabschnitte 03.00-06.00 Uhr, 06.00-09.00 Uhr und 09.00 bis 12.00 Uhr
- Abbildung 35:** Die Mutterstute liegt in Brust-Bauch-Lage, das Fohlen in Seitenlage
- Abbildung 36:** Versuch eines Fohlens am Euter der liegenden Mutter zu saugen
- Abbildung 37:** Verteilung der Schlafstadien während der unterschiedlichen Körperlagen
- Abbildung 38:** Prozentualer Anteil der Vigilanzstadien an der Seitenlage
- Abbildung 39:** Prozentualer Anteil der verschiedenen Körperlagen an den einzelnen Vigilanzstadien
- Abbildung 40:** Verteilung des Vigilanzstadiums Wach auf die vier Körperlagen
- Abbildung 41:** Polysomnographische Messung zum Beginn der Saugperiode
- Abbildung 42:** Polysomnographische Aufzeichnung eines Fohlens während des Saugens
- Abbildung 43:** Verlauf des prozentualen Anteils der Trinkphasen an der Gesamtmesszeit innerhalb eines 24-Studentages
- Abbildung 44:** Durchschnittliche Dauer der Trinkphasen

I. EINLEITUNG

Polysomnographische Untersuchungen werden in der Tiermedizin bereits seit mehreren Jahrzehnten durchgeführt. In der Pferdemedizin ist es bei adulten Tieren mittlerweile möglich, nichtinvasive polysomnographische Untersuchungen mittels portabler kabelloser Polysomnographen im heimatlichen Stall durchzuführen. Auch bei Fohlen wurden bereits erste polysomnographische Messungen erfolgreich durchgeführt. Allerdings konnten noch keine physiologischen Referenzwerte der verschiedenen Vigilanzstadien gesunder Fohlen generiert werden. In der humanen Neonatologie ist es bereits üblich, mithilfe der Messung von Hirnströmen prognostische Aussagen über die Entwicklung der Kinder in Bezug auf Krankheiten wie Epilepsie oder Steuerungsprozesse des Gehirns zu treffen. Anhand dieser Befunde ist eine individuell angepasste medizinische Betreuung der Säuglinge möglich.

Der Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung aus dem Department für Veterinärwissenschaften der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität erforscht bereits seit mehreren Jahren das Schlafverhalten und Pathologien des Schlafverhaltens adulter Pferde.

Mit dieser Arbeit soll die Schlafphysiologie gesunder Fohlen in ihrem gewohnten Umfeld mittels polysomnographischer Messungen untersucht und dargestellt werden. Dafür wurden zehn Fohlen innerhalb ihrer ersten Lebenswoche über einen Zeitraum von 48 Stunden im heimatlichen Stall polysomnographisch gemessen sowie mittels dauerhafter Kameraüberwachung beobachtet.

Das Ziel der Studie war es, Richtwerte für die polysomnographische Auswertung bei gesunden Fohlen in ihrem gewohnten Umfeld zu generieren. Anhand dieser Daten soll es in Zukunft möglich sein, patho-physiologische Veränderungen in den Hirnströmen der Fohlen erkennen zu können und diese prognostisch zu beurteilen, um somit die Lebensfähigkeit von zu früh geborenen oder zentralnervös gestörten Fohlen frühzeitig einschätzen zu können. Dies hat vor Allem tierschutzrechtliche Bedeutung, um den Tieren unnötige Schmerzen, Leiden und Schäden zu ersparen. Zudem sollen die Ergebnisse als Basis für die weitere Forschung auf dem Gebiet der Pharmakologie, insbesondere der Sedativa und Narkotika, dienen. Hierdurch sollen Unverträglichkeiten und Nebenwirkungen von Medikamenten frühzeitig erkannt und dosisabhängige Effekte in Bezug auf Hirnströme aufgedeckt werden. Langfristig soll auch dies zum Tierschutz beitragen.

Ebenfalls wurden quantitative Daten zum Schlaf- und Liegeverhalten der Fohlen im Tagesverlauf erfasst. Dies soll eine tiergerechte Gestaltung von Abfohlboxen und eine Optimierung der Tagesabläufe in Zuchtställen ermöglichen.

Zuletzt soll durch die Grundlagenforschung in Bezug auf das Trinkverhalten von neugeborenen Fohlen eine Leitlinie für die zeitlichen Abläufe des Fütterungsregimes von mutterlosen Fohlen erstellt werden.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Allgemeines zum Schlaf

1.1. Polysomnographie

Durch die Polysomnographie wird eine Vielzahl von Parametern während des Schlafes eines Individuums gemessen. Durch die gesammelten Daten von Elektroenzephalogramm (EEG), Elektrookulogramm (EOG) und Elektromyogramm (EMG) kann der Schlaf in verschiedene Stadien eingeteilt werden (Sadeh et al. 2000, Keenan et al. 2011). Zurzeit gilt die Polysomnographie als Goldstandard zur Schlafstadienbestimmung (Boe et al. 2019, Daftary et al. 2019, Schabus et al. 2019).

1.1.1. Elektroencephalographie

Die neuronale Aktivität des Cortex erzeugt elektrische Potentiale, welche über die Kopfhaut gemessen werden können. Die elektrischen Aktivitäten beinhalten Aktionspotentiale, welche kurze, umschriebene elektrische Felder produzieren und postsynaptische Potenziale, die breitere und langsamere Signale erzeugen (Binnie et al. 1994). Durch die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs von Feldpotentialen, welche durch synchrone Aktion der Gehirnzellen entstehen, kommt das Elektroencephalogramm zustande (Blinowska et al. 2006). Beim Beschreiben des EEGs werden drei Parameter genutzt: Frequenz, Amplitude und Morphologie (Harris 2005). Beim Menschen sind die Elektrodenpositionen durch das 10-20-System festgelegt, wobei mindestens drei Ableitungen erforderlich sind (Carskadon et al. 2011).

1.1.1.1. Frequenzbereiche

Der Frequenzbereich eines humanen physiologischen EEGs reicht von 0,5-30 Hz (Harris 2005). Die α -Frequenz besteht aus einem 8-13 Hz-Rhythmus, der vor allem aus der okzipitalen Region abgeleitet werden kann. Dieser tritt vor allem während des entspannten Wachzustands auf und wird unterbrochen, sobald der Mensch sich auf etwas konzentriert. Die β -Frequenz schließt Wellen mit niedriger Amplitude, aber höheren Frequenzen von 13-30 Hz ein. β -Wellen treten bei gesteigerter Wachsamkeit oder Konzentration auf. Die θ -Frequenz beschreibt 4-7 Hz-Wellen, v.a. in der zentralen und temporalen Hirnregion. Diese Frequenz tritt bei erwachsenen Menschen kaum auf, konnte aber häufig bei Nagetieren nachgewiesen werden. Die δ -Frequenz beschreibt Frequenzbereiche von

0,5-4 Hz und tritt vor allem während des Schlafes auf (s. Abb. 1) (Blinowska et al. 2006, Carskadon et al. 2011, Keenan et al. 2011, Dreitz 2018).

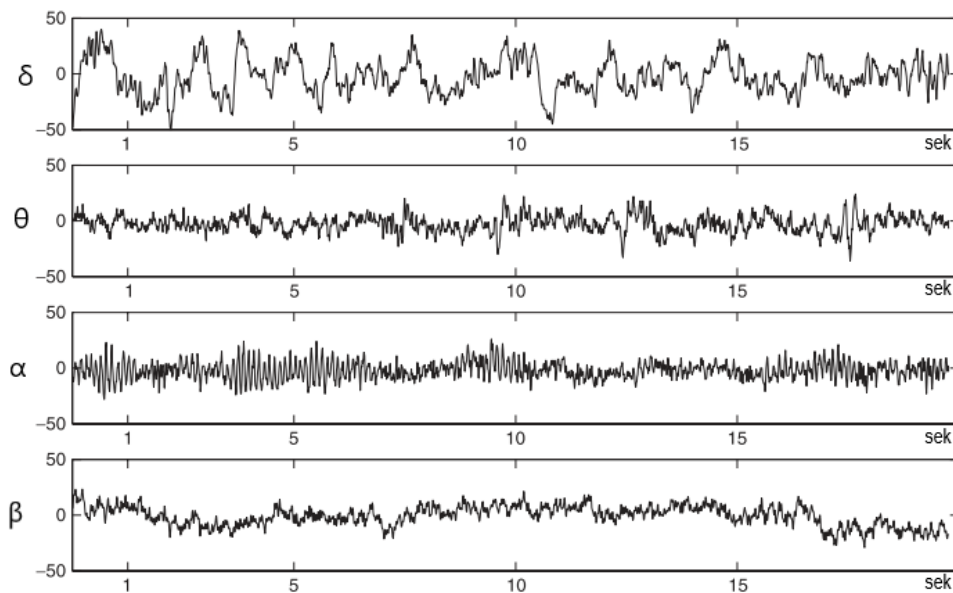


Abbildung 1: Frequenzbereiche des EEGs: δ -Rhythmus (0,5-4 Hz), θ -Rhythmus (4-8 Hz), α -Rhythmus (8-13 Hz), β -Rhythmus (13-30 Hz) (nach Blinowska et al. 2006)

1.1.1.2. Amplitude

Die Amplitude des EEGs reicht von 25-250 μV . Gemessen wird die Amplitude einer Welle an den maximalen Ausschlägen („peak-to-peak“) (Harris 2005). Die Amplitudenhöhe kann als sicheres Zeichen für pathologische Vorgänge im EEG genutzt werden (Binnie et al. 1994).

1.1.1.3. Graphoelemente

Vertex-Zacken sind meist triphasische scharf konturierte Zacken, wobei die Dauer $<0,5$ Sekunden liegt und die Amplitude von 75-250 μV reicht. Am ausgeprägtesten sind die Vertex-Zacken im zentralen Bereich der Ableitungen.

K-Komplexe sind biphasische scharf negative Auslenkungen, gefolgt von schwächeren positiveren Komponenten. Ein K-Komplex dauert $\geq 0,5$ Sekunden mit einer Amplitude $>75 \mu\text{V}$. Die maximalen Ausschläge werden frontal gemessen. K-Komplexe entstehen spontan, können aber durch äußerliche Reize ausgelöst werden und liegen oft vor dem Auftreten von Arousals (Blinowska et al. 2006).

Schlafspindeln sind spindelförmige Wellen von 11-16 Hz, welche von Thalamus und thalamocorticalen Pfaden entstammen. Die Dauer beträgt 0,5-3,0 Sekunden bei einer Amplitude von $>10 \mu\text{V}$. Niedrig-frequente Spindeln (11-12,5 Hz) sind in

den vorderen Ableitungen deutlicher ausgeprägt, hochfrequente Spindeln (12,5-15 Hz) dagegen eher in den hinteren Ableitungen (Żygierewicz et al. 1999). Zu Beginn der Nacht kommen Spindeln häufiger vor als zu deren Ende (Zeitlhofer et al. 1997).

Sägezahnwellen haben die maximale Amplitude zentral, eine Frequenz von 2-6 Hz und erscheinen häufig vor dem Auftreten schneller Augenbewegungen (Harris 2005, Keenan et al. 2011, Dreitz 2018).

1.1.2. Elektrookulographie

Durch das Elektrookulogramm werden die Augenbewegungen gemessen. Dies dient zum einen dazu, die typischen REM-Bewegungen festzustellen, um den REM-Schlaf verifizieren zu können, zum anderen werden auch die langsamen rollenden Augenbewegungen (SEM) aufgezeichnet, die in den anderen Schlafstadien und im Wachzustand auftreten. Die Potentiale kommen durch die positive Ladung der Cornea zustande, welche im Gegensatz zur negativen Ladung der Retina steht. Der Glaskörper, sowie die vordere und hintere Augenkammer, dienen als Potenzialfeld. Sobald das Auge sich bewegt, können elektrische Potentiale in der Haut des Augenumfelds gemessen werden (Harris 2005, Blinowska et al. 2006, Carskadon et al. 2011).

1.1.3. Elektromyographie

Die Bewegung der Muskulatur generiert Aktionspotentiale der Muskelfasern mit einer Frequenz von über 10 Hz. Das EMG zeichnet diese Muskelpotentiale auf (Harris 2005).

1.2. Schlafstadien

1.2.1. Einteilung der Schlafstadien

Im Jahre 2007 veröffentlichte die American Association of Sleep Medicine (AASM) ein Handbuch als Leitfaden zur Einteilung der Schlafstadien, welches einige Veränderungen zu dem 1968 veröffentlichten Buch „A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects“ brachte (Kales et al. 1968, Iber et al. 2007). Die Unterschiede sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Schlaf-Stadien-Bestimmung von Rechtschaffen&Kales (1968) und AASM (2007) (nach Keenan und Hirshkowitz. 2011)

Parameter	R&K Klassifikationskriterien	AASM Klassifikationskriterien
Epochenlänge	15 oder 30 Sekunden eigene Entscheidung	30 Sekunden vorgeschrieben
Schlafstadien Benennung	Wachzustand, Stadium 1, Stadium 2, Stadium 3, Stadium 4, REM-Schlaf, Bewegung	Stadien W (wach), N1, N2, N3 und R
Wachzustand	EEG: α -Aktivität für $\geq 50\%$ einer Epoche	gleichbleibend
SW-Schlaf	EEG slow-wave-Aktivität $\geq 50\%$ der Epoche für Stadium vier oder $\geq 20\%$ der Epoche für Stadium drei	gleichbleibend, allerdings werden die Stadien 3 und 4 zusammengefasst zu N3
Stadium 2	Schlafspindeln oder K-Komplexe; EEG Slow-wave-Schlaf für $< 20\%$ der Epoche	gleichbleibend
Stadium 1	niedrig frequente, gemischte Aktivität; evtl. Vertex-Zacken; evtl SEM; keine Schlafspindeln oder K-Komplexe; EEG α -Frequenzen für $< 50\%$ der Epoche	gleichbleibend
REM-Schlaf	niedrige Spannung, gemischte Frequenzen, sehr wenig Muskeltonus; evtl. Sägezahnwellen, eindeutige REM-Augenbewegungen	gleichbleibend
Bewegung	wenn wegen Bewegungsartefakten die Epoche nicht mehr zugeordnet werden kann, ist diese der darauffolgenden Epoche als S1,2,3,4, oder REM Schlaf einzuordnen	gibt es nicht mehr

Die Vigilanzstadienbestimmung erfolgt anhand der gemessenen Werte von EEG, EOG und EMG. In Tabelle 2 sind die im folgenden Text beschriebenen

Charakteristika von EEG, EOG und EMG der jeweiligen Vigilanzstadien zusammengefasst.

1.2.2. Wachzustand

Im Wachzustand finden sich Frequenzen von 2-7 Hz und Abschnitte mit niedrigen Amplituden, die im Bereich von 15-25 Hz liegen (Blinowska et al. 2006).

Im entspannten Wachzustand mit geschlossenen Augen ist eine rhythmische α -Frequenz zu erkennen. Sobald die Augen geöffnet werden, ändert sich das Bild des EEGs zu niedriger Spannung und gemischten Frequenzen. Auch β -Frequenzen sind zu sehen (Harris 2005, Carskadon et al. 2011). Die Höhe der Amplituden bewegt sich zwischen 10 und 100 μ V (Blinowska et al. 2006). Das EOG zeigt verschiedene Muster wie Blinzeln oder rollende Augenbewegungen. Im EMG ist eine recht hohe Spannung mit deutlichen Ausschlägen bei Bewegung zu erkennen. Der Übergang zu einem Schlafstadium ist an den einschleichenden Theta-Frequenzen im EEG, langsam rollenden Augenbewegungen im EOG und reduzierter Muskelaktivität im EMG zu erkennen (Harris 2005, Carskadon et al. 2011).

1.2.3. Non-REM-Schlaf

1.2.3.1. Stadium N1

Im Stadium eins, welches nach Rechtschaffen & Kales und den AASM Richtlinien gleich beurteilt wird, wird die α -Frequenz durch gemischte Frequenzen mit niedriger Amplitude im EEG abgelöst. Im EEG sind vorwiegend delta- und theta-Frequenzen, teilweise unterbrochen von β -Aktivität zu sehen. Des Weiteren sind Vertex-Zacken vorhanden (Harris 2005, Carskadon et al. 2011).

1.2.3.2. Stadium N2

Der Übergang von Stadium eins zu Stadium zwei ist am Erscheinen von K-Komplexen und Schlafspindeln zu erkennen. Augenbewegung können am Anfang von Stadium zwei noch langsam rollend sein, werden aber mit der Tiefe des Stadiums zwei immer weniger. Das EMG ist gekennzeichnet durch eine niedrige bis mittelhohe Amplitude (Harris 2005). Schlafspindeln werden als Einsetzen des Schlafes gewertet. Vorherrschend sind langsame Frequenzen von 0,75-4 Hz, es können aber auch schnellere Frequenzen von 15-30 Hz auftreten (Blinowska et al. 2006).

1.2.3.3. Slow-Wave-Sleep (Stadium N3 und Stadium N4)

Der Leitfaden der AASM fasst die Stadien drei und vier von Rechtschaffen und Kales zusammen als Stadium N3 (Iber et al. 2007). Die Frequenz des EEGs liegt zwischen 0,5 und 2 Hz, was bedeutet, dass die einzelnen Wellen eine Dauer von mindesten 0,5 Sekunden aufweisen. Die Amplitude muss größer als 75 μ V sein. K-Komplexe und Schlafspindeln können auftreten, sind aber schwieriger zu erkennen als in den Stadien N1 und N2. Die EMG-Aktivität ist sehr niedrig und Augenbewegungen sind nicht vorhanden (Harris 2005). Als Stadium drei werden Abschnitte gewertet, wenn 20-50% der Epoche Delta-Wellen von 0,5-2.5 Hz und >75 μ V enthalten.

Im System nach Rechtschaffen und Kales werden Epochen als Schlafstadium N4 bezeichnet, wenn diese mehr als 50% der Epoche Delta-Aktivität aufweisen. K-Komplexe können auftreten (Blinowska et al. 2006).

1.2.3.4. REM-Schlaf

Im EEG sind sowohl Theta- als auch langsame Alpha-Aktivitäten zu erkennen. Sägezahnwellen treten auf. Im EMG ist der niedrigste mittlere Tonus aller Schlafstadien zu finden. Im EOG sind die namensgebenden Rapid-Eye-Movements sichtbar (Harris 2005, Dreitz 2018). Es ist schwierig, allein auf der Basis des EEGs den REM-Schlaf vom Leichtschlaf zu unterscheiden (Blinowska et al. 2006).

Tabelle 2: Schlafstadienbestimmung anhand von EEG, EOG und EMG nach Dreitz (2018)

	EEG	EOG	EMG
Wach	α - & β -Aktivität >8 Hz	schnelle Augenbewegungen	hoch
N1	θ -Aktivität (4-8 Hz) Vertex-Zacken	langsame, rollende Augenbewegungen	abnehmend (<W)
N2	θ -Aktivität, K-Komplexe. Spindeln	keine AB	abnehmend (<N1)
N3	δ -Aktivität (0,5-4 Hz; <2 Hz in mind. 20 % der Epoche)	keine AB EEG-Artefakte	gering (<N2)
REM	θ -Aktivität, auch langsame α -Aktivität, Sägezahnwellen	schnelle AB	minimal (<N3)

1.3. Schlafarchitektur

Die Schlafarchitektur gibt einen Überblick über die Verteilung der jeweiligen Schlafstadien, die während der Messdauer auftreten (Harris 2005). Das Hypnogramm eines gesunden Menschen zeigt vier bis sieben Schlafzyklen pro Nacht mit einer jeweiligen Dauer von 90-110 Minuten. Tiefschlaf ist in der ersten Nachthälfte zu finden, REM-Schlaf vor allem in der zweiten (Blinowska et al. 2006, Keenan et al. 2011, Dreitz 2018).

2. Schlafverhalten adulter Pferde

2.1. Bisherige Untersuchungen zum Schlafverhalten adulter Pferde

2.1.1. Polysomnographische Untersuchungen zur Verhaltensforschung

Die ersten Studien, die das Schlafverhalten der Familie der Equidae untersuchten, wurden im Jahre 1963 von Ruckebusch an Eseln durchgeführt (Ruckebusch 1963). Auf diese Untersuchungen folgten in den darauffolgenden Jahren Untersuchungen über das Schlafverhalten an Pferden und Rindern (Ruckebusch 1963). 1974 untersuchten Dallaire und Ruckebusch den Einfluss der Fütterung auf das Schlaf- und Liegeverhalten von Ponys. Diesen wurden mit Silber überzogene Schraubelektroden unter Vollnarkose epidural eingesetzt (Dallaire et al. 1974). Im selben Jahr untersuchten die gleichen Autoren in einer anderen Studie das Schlafverhalten von Ponys unter dem Entzug bestimmter Sinne. Auch diesen wurden unter Vollnarkose mit Silber überzogene Schraubelektroden epidural implantiert (Dallaire et al. 1974). Hale untersuchte 1980 das normale Schlafverhalten von vier Shetlandponys. Dem ersten Pony wurden silberne Plattenelektroden aufgeklebt. Allerdings waren die Messungen der Gehirnströme von Muskelartefakten so stark überlagert, dass diese kaum auswertbar waren. Daraufhin wurden den anderen Ponys chirurgisch rostfreie Stahlschrauben-Elektroden implantiert und die Messungen erfolgten jeweils über acht Stunden in insgesamt zehn Nächten (Hale et al. 1980). Lewin entwickelte 1998 einen speziellen halfterähnlichen Gurt, in welchen Elektroden eingesetzt werden konnten. Durch diese Methode war ein sicheres, schnelles und nichtinvasives Anbringen der Elektroden auf den Pferdeköpfen möglich (Lewin 1998). Williams et al. untersuchten 2008 das Schlafverhalten von Pferden mit 16 Nadelelektroden, die subkutan platziert wurden. Die Anbringung erfolgte ohne Sedation (Williams et al. 2008). Güntner etablierte 2010 ein System mit zehn Napfelektroden, die auf rasierte Stellen auf die Haut aufgeklebt werden konnten, welches aus der Humanmedizin stammt, in der Tiermedizin. Diese Anbringung erfolgt ohne Sedation (Güntner 2010).

2.1.2. Polysomnographische Untersuchungen zu Sedativa und Narkotika

Die Auswirkungen von verschiedenen Sedativa und Narkotika auf das EEG des Pferdes wurde mehrfach erforscht. 1979 veröffentlichten Auer et al. ihre Studien zu den Auswirkungen von Isofluran, Enfluran, Methoxyfluran und Halothan auf das EEG des Pferdes (Auer et al. 1979). Purohit et al. (1981) setzten Schraubelektroden ein, um die Auswirkungen von Ketamin und Xylazin auf die

Hirnströme gesunder Pferde zu erfassen (Purohit et al. 1981). Die Qualität und Tiefe der Narkose bei orthopädischen Operationen anhand des EEGs wurde 1993 von Short et al. überprüft (Short et al. 1993). Parallel zu den normalen EEG-Messungen wurde auch beim Pferd die computergestützte EEG-Spektralanalyse etabliert (Otto et al. 1991, Ekström et al. 1993, Short et al. 1993, Johnson et al. 1994). Miller et al. erforschten die Auswirkungen von Schmerzen auf das EEG des Pferdes in Narkose (Miller et al. 1995). 2005 wurden Narkosestudien mit Klebeelektroden von Haga et al. durchgeführt (Haga et al. 2005). 2012 erforschten Toth et al. das Schlafverhalten von Fohlen, wenn diese mit einem Strick festgebunden wurden. Dazu benutzten sie sechs Nadelelektroden, die subkutan platziert wurden (Toth et al. 2012).

2.1.3. Polysomnographische Untersuchungen zu Erkrankungen

Lapras et al. untersuchten 1968 die EEG-Aktivität von neun Pferden und einem Esel, welche experimentell mit dem West-Nile-Virus infiziert worden waren. Dazu benutzten sie vier Nadelelektroden, welche bis in die Knochenhaut vorgeschoben wurden (Lapras et al. 1968). Lacombe et al. führten 2012 Studien zu intrakranialen Erkrankungen beim Pferd durch. Fuchs führte 2017 polysomnographische Messungen zur Narkolepsie bei Pferden durch, wobei sich herausstellte, dass die Anfälle durch REM-Schlaf-Mangel ausgelöst werden. Als Messapparatur wurden dieselben Geräte wie bei Kalus 2014 und Güntner 2010 verwendet (Fuchs 2017).

2.2. Polysomnographie bei adulten Pferden

In vorangegangenen polysomnographischen Untersuchungen zum Schlafverhalten von Pferden wurden die Schlafstadien eins und zwei als „Leichtschlaf“ zusammengefasst. Die Stadien drei und vier von Rechtschaffen und Kales (1968) wurden, wie in den AASM-Leitlinien empfohlen, als „Slow-wave-Sleep“ zusammengefasst. Dies geschah, da nicht jede 30-Sekunden-Epoche eindeutig einem der vier NREM-Schlaf-Stadien zugeordnet werden konnte, und weil es bis jetzt keine wissenschaftliche Erkenntnis gibt, dass eine Notwendigkeit besteht, den Leichtschlaf weiter zu unterteilen (Williams et al. 2008, Kalus 2014, Fuchs 2017). Zur Orientierung der EEG-Frequenzen dient Tabelle 3.

Tabelle 3: EEG-Frequenzen der Bandbereiche beim Pferd nach Williams et al. 2008 (Williams et al. 2008)

Bandbereich	Frequenz (in Hertz)
δ	0-<4
θ	4-<8
α	8-<13
β	13-<30
γ	>30

2.2.1. Wachzustand

Je nach Aktivitätslevel der Pferde weisen sowohl EEG, EOG und EMG unterschiedliche Erscheinungsbilder auf. Im EEG kann ein breites Frequenzspektrum mit meist gemischtfrequenten Aktivitäten und unterschiedlich hohen Amplituden auftreten. Im EMG zeigen sich Kaubewegungen deutlich anhand einer hochfrequenten, hochgespannten Ableitung. Auch ohne Kaubewegung zeigt das EMG die höchste Frequenz und Amplitude, verglichen mit dem der REM-Phase (Hale et al. 1980, Kalus 2014). Das EEG wird häufig durch Artefakte überlagert, die durch Muskelzucken oder Bewegung entstehen. Auch Ohren- und Kaubewegungen lösen Artefakte aus (Hale et al. 1980, Williams et al. 2008). Im Wachzustand ist eine dominierende schnelle Aktivität von 25-40 Hz und 5-40 μ V, welche eine langsamere Aktivität von 0,5-4 Hz und 10-40 μ V überlagert, zu erkennen. Auch Spindelaktivitäten von 10-14 Hz und 10-40 μ V können beobachtet werden (Grabow et al. 1969, Purohit et al. 1981, Mysinger et al. 1985). Hale et al. (1980) bestimmten für den Wachzustand die Frequenz von 16-25 Hz bei einer niedrigen Spannung von 10-50 μ V (Hale et al. 1980). Auch Dallaire et al. stellten 1974 mit 10-30 μ V und 25-40 Hz ähnliche Werte fest (Dallaire et al. 1974).

Zum Teil wird beim erwachsenen Pferd auch ein entspannter Wachzustand beschrieben, in welchem ein niederamplitudiges (<40 μ V) EEG mit gemischter α -, γ - und β -Frequenz vorherrscht (Kalus 2014). Auch Lewin (1998) gibt für den entspannten Wachzustand eine Grundtätigkeit von 15-35 Hz bei wechselnder Spannungshöhe von 10-40 μ V an. Bei einigen Pferden konnten während des entspannten Wachzustands Gruppen von Wellen für 0,5 bis 1,5 Sekunden auftreten, die ein generalisiertes, teilweise polymorphes Erscheinungsbild im Bereich von 7-15 Hz mit einer Spannungshöhe von 40-80 μ V aufwiesen (Lewin

1998). Ein Grundrhythmus in Form von α -Wellen wird im Pferde-EEG nicht gefunden, was eine eindeutige Zuordnung zum Vigilanzstadium „entspannter Wachzustand“ erschwert (Hale et al. 1980, Williams et al. 2008, Kalus 2014).

2.2.2. Leichtschlaf

Im EEG ist eine unregelmäßige und gemischtfrequente Aktivität bei allgemein sehr niedriger Amplitude erkennbar. Zum Teil treten K-Komplexe und Schlafspindeln auf (Kalus 2014), wobei die Schlafspindeln mit Werten von 10-12 Hz angegeben werden (Williams et al. 2008). Auch Hale et al. stellten Schlafspindeln von 5-8Hz fest (Hale et al. 1980), was mit den Ergebnissen von Dallaire et al., die auch das Auftreten von sehr deutlichen Schlafspindeln beschreiben, übereinstimmt (Dallaire et al. 1974). δ -Aktivität tritt nur selten und nur über sehr kurze Abschnitte hinweg auf (Kalus 2014). Eine Aktivität von 20 Hz und 10-20 μ V, unterbrochen von rhythmischer Aktivität von 4 Hz, welche von 20-40 μ V reichte, sind im EEG feststellbar (Williams et al. 2008). Das EOG variiert zwischen kleinen, gleichmäßig rollenden Augenbewegungen, komplettem Stillstand oder heftigen Augenbewegungen. Im EMG sind ein wechselnder Tonus bei schwankender Amplitudenhöhe erkennbar (Kalus 2014).

2.2.3. Slow-Wave-Schlaf

Das EEG zeigt einen hohen Anteil von niedrigfrequenten δ -Wellen, welche eine hohe Amplitude (über 75 μ V, z.T. bis 100-150 μ V) aufweisen (Dallaire et al. 1974, Kalus 2014). Williams et al. (2008) stellten Hintergrund-Aktivitäten von 1-4 Hz und 60-80 μ V fest (Williams et al. 2008). Graphoelemente wie Schlafspindeln, K-Komplexe und Vertex-Zacken sind im EEG während des Slow-Wave-Sleep auffindbar (Williams et al. 2008, Kalus 2014). Im EOG ist eine mittlere bis geringe Aktivität mit langsamen Augenbewegungen erkennbar. Mittlere bis niedrige Spannung bei gleichmäßigem Verlauf ist im EMG feststellbar (Hale et al. 1980, Kalus 2014).

2.2.4. Rapid-Eye-Movement-Schlaf

Im EEG ist eine unregelmäßige, gemischtfrequente Aktivität mit niedriger Amplitude zu sehen. Oft treten sogenannte „Sägezahnwellen“ auf (Kalus 2014). EEG-Aktivitäten bei 20-30 Hz und 5-10 μ V können von 4 Hz-Aktivitäten zwischen 30 und 40 μ V unterbrochen sein (Williams et al. 2008). Hales et al. (1980) stellten asynchrone hochfrequente Wellen mit 18-24 Hz und 10-30 μ V im REM-Schlaf fest (Hale et al. 1980). Im EOG sind die typischen gegenläufigen schnellen Augenbewegungen („Rapid-Eye Movement“) erkennbar. Das EMG ist durch einen sehr niedrigen Muskeltonus gekennzeichnet (Williams et al. 2008, Kalus

2014).

2.3. Quantitative Verteilung der Schlafstadien

2.3.1. Gesamtschlafenszeit

Die Gesamtschlafzeit während der Nacht beträgt bei gesunden Pferden im Mittel $203,0 \pm 46,5$ Minuten, was 51 % (Min. 32,5 %; Max. 65,5 %) entspricht (Kalus 2014). Bei Güntner et al. (2010) betrug die mittlere nächtliche Gesamtschlafzeit $130,2 \pm 53,6$ Minuten, was $26,1 \pm 9,9$ % der Gesamtmessdauer entspricht (Güntner 2010). Dallaire et al. (1986) stellten eine durchschnittliche Schlafenszeit von drei bis fünf Stunden pro Tag fest (Dallaire 1986). Bei Williams et al. 2008 betrug die Gesamtschlafenszeit pro Nacht im Durchschnitt drei Stunden (Williams et al. 2008). Pferde sind weder tag- noch nachaktiv, allerdings schlafen sie nachts deutlich mehr als tagsüber (Boyd et al. 1988, Chaplin et al. 2010, DuBois et al. 2015), vor allem dann, wenn sie im Stall sind (Ruckebusch 1972). Die Hauptschlafenszeit liegt nach Mitternacht (Kalus 2014), bzw. zwischen Mitternacht und 02.00 Uhr (Dallaire 1986). Als normale Schlafenszeit bezeichnen Hunter et al. (1989) die Zeit zwischen 02.00 und 05.00 Uhr (Hunter et al. 1989). Stuten mit Fohlen bei Fuß ruhen während der ersten Lebenswoche der Fohlen 14,6 % der Zeit (Crowell-Davis 1994).

2.3.2. Ruheverhalten der Pferde

Das Ruheverhalten von Pferden wird vor allem in Beobachtungsstudien beschrieben, in denen keine polysomnographischen Messungen stattfanden. So wurden bei freilebenden Przewalsky- und Camargue-Pferden Gesamtruhezeiten von fünf bis sieben Stunden, was 20 bis 30 % der Gesamtbeobachtungszeit beträgt, beobachtet (Duncan 1980, Boyd et al. 1988). In einer Herde Przewalsky-Pferde, die nur tagsüber beobachtet wurden, konnten Ruhezeiten von insgesamt 1,4 bis 2 Stunden festgestellt werden, was 6-8 % der Gesamtbeobachtungszeit ausmacht (Steidele 2011). Im Vergleich der Haltungsformen gibt Wille (2010) an, dass in Gruppenhaltung 65,8 % und in Einzelboxenhaltung 62,86 % der Zeit mit Ruhen verbracht werden (Wille 2010).

2.3.3. Leichtschlaf

Der Leichtschlaf nimmt bei adulten Pferden 18,8 % der Gesamtschlafzeit ein, wobei die mittlere Leichtschlafdauer bei $40,7 \pm 24,8$ min/Nacht liegt (Kalus 2014). Güntner et al. (2010) stellten fest, dass 27,9 Minuten (24,2 % der GSZ) in Stadium eins und 42,4 Minuten (32,1 % der GSZ) in Stadium zwei (diese beiden Stadien werden von Kalus et al. 2014 als Leichtschlaf zusammengefasst)

verbracht wurden (Güntner 2010).

2.3.4. Slow-Wave-Schlaf

Im Mittel verbringen Pferde $131,1 \pm 27,6$ Minuten (mind. 78 Minuten; max. 200 Minuten) im SW-Schlaf, was 65,5 % der Gesamtschlafzeit entspricht (Kalus 2014). Bei den Ergebnissen von Dallaire et al. verbrachten die Pferde im Mittel 145,7 Minuten im SW-Schlaf (Dallaire et al. 1974). Etwas weniger Zeit mit insgesamt circa zwei Stunden verbrachten die Pferde bei Ruckebusch et al. 1970 im Slow-Wave-Schlaf (Ruckebusch et al. 1970). Die durchschnittliche Dauer einer Slow-Wave-Schlafperiode beträgt laut Williams et al. 205,1 Sekunden. Durchschnittlich gibt es pro Pferd pro Nacht 52 SW-Schlaf Episoden (Williams et al. 2008). Der meiste SW-Schlaf findet beim erwachsenen Pferd zwischen Mitternacht und 04.00 Uhr statt (Bertone 2006). Am stehenden Pferd konnten SW-Schlaf Episoden nachgewiesen werden, die länger als 40 Sekunden andauerten (Wöhr et al. 2006).

2.3.5. REM-Schlaf

Gesunde Pferde verbrachten nachts in Einzelboxen $31,3 \pm 9,9$ Minuten (mind. 17,0 Minuten.; max. 56,0 Minuten.) im REM-Schlaf, was 15,6 % der Gesamtschlafzeit entspricht. Signifikant am meisten Zeit im REM Schlaf wurde nach drei Uhr verbracht (Kalus 2014). Eine ähnliche Angabe machen Williams et al. (2008), in deren Studie durchschnittlich 30 Minuten pro Nacht im REM-Schlaf verbracht wurden (Williams et al. 2008). Bertone et al. (2007) beobachteten, dass REM-Schlaf vor allem zwischen Mitternacht und 04.00 Uhr auftrat (Bertone 2006). In anderen Studien konnte beobachtet werden, dass REM-Schlaf zwischen 20 und 24 Uhr bevorzugt in Brust-Bauch-Lage vollzogen wurde, wohingegen zwischen 24 und acht Uhr REM-Schlaf vor allem in Seitenlage verbracht wurde (Dallaire et al. 1974). Bei Dallaire et al. verbrachten die Pferde im Mittel 43,3 Minuten im REM Schlaf (Dallaire et al. 1974). Ruckebusch et al (1970) stellten fest, dass 4,1-9,7 % von 12 Stunden Messdauer im REM-Schlaf verbracht wurden, wobei die individuellen Perioden des REM-Schlafes zwischen 2,1 und 13,4 Minuten dauerten (Ruckebusch et al. 1970). In anderen Studien wurden zwischen 21,5 % und 27,9 % der Gesamtschlafenszeit im REM-Schlaf verbracht (Dallaire et al. 1974). Güntner et al. (2010) beobachteten, dass REM-Schlaf nicht bei jedem Pferd und nicht in jeder Nacht auftrat. Die Dauer des beobachteten REM-Schlafs lag bei $7,3 \pm 6,6$ Minuten (Güntner 2010). Die individuellen REM-Schlafperioden dauern zwischen drei und acht Minuten (Hale et al. 1980), andere Autoren beschreiben eine Länge der einzelnen Perioden von

ca. vier Minuten (Dallaire et al. 1974).

2.4. Schlaffragmentierung

Es konnte festgestellt werden, dass sich während der Nacht zwei Hauptschlafenszeiten nachweisen lassen. Die erste findet zwischen 21 und 23 Uhr statt, die zweite zwischen zwei und vier Uhr morgens. Außerdem werden im Mittel 5,5 Schlafepochen beobachtet, die zwischen $33,7 \pm 3,7$ und $49,9 \pm 4,5$ Minuten dauern. Die Schlafzyklen (Dauer von einer REM-Schlafphase bis zur nächsten) dauern zwischen $11,4 \pm 1,1$ und $15,6 \pm 2,1$ Minuten (Dallaire et al. 1974). Signifikant am meisten REM-Schlaf wird nach drei Uhr morgens verbracht (Kalus 2014). Pferde weisen ein polyphasisches Schlafprofil mit drei bis vier sich wiederholenden Schlafperioden auf, welche insgesamt kürzer und von häufigeren Wachphasen unterbrochen sind, als beim Menschen (Wöhr et al. 2006). Die Hauptruhezeiten wurden zwischen Mitternacht und 05.00 Uhr sowohl im Stehen, als auch im Liegen verbracht (Fader 2002).

2.5. Ruheverhalten von Mutterstuten

Im zweiten bis vierten Monat nach der Geburt wurden tagsüber Ruhezeiten von 12,76 % bis 18,71 % der Gesamtmesszeit und nachts Ruhezeiten von 14,82 % bis 23,36 % festgestellt. Während des ersten Lebensmonats der Fohlen verbrachten die Mutterstuten 23-30 % der Messzeit mit Ruhen. Während des sechsten Lebensmonats der Fohlen konnte bei den Müttern eine Gesamtruhezeit von 26 % festgestellt werden. In der ersten Woche nach dem Abfohlen wurde ein vermehrtes Ruheverhalten tagsüber im Vergleich zu nachts beobachtet, im dritten und sechsten Monat nach der Geburt fand das Ruheverhalten vor allem nachts statt (D'Alessandro et al. 2007). Während der ersten Lebenswoche der Fohlen verbrachten die Stuten tagsüber 14,6 % der Zeit mit Ruhen, in der neunten Lebenswoche verbrachten sie tagsüber 15,7 % mit Ruhen. Der Hauptanteil des Ruhens fand während dem späten Vormittag und dem Nachmittag statt (Crowell-Davis 1994).

2.6. Körperlagen während der Schlafstadien

Schlafstadien korrelieren nicht zwangsweise mit den Körperlagen, die die Pferde einnehmen. So können der Wachzustand, der Leichtschlaf und der SW-Schlaf sowohl im Stehen, als auch in Brust-Bauch-Lage, als auch in Seitenlage stattfinden (Williams et al. 2008, Williams et al. 2012, Kalus 2014). REM-Schlaf dagegen kann nur in Seitenlage und in Brust-Bauch-Lage mit aufgesetztem Kopf auftreten (Haupt et al. 1986, Harris 2005, Kalus 2014, Fuchs 2017).

2.6.1. Ruheverhalten im Stehen

Dank der Spannsägenkonstruktion der Hintergliedmaßen ist es den Pferden möglich, ohne Kraftaufwand im Stehen zu Ruhen (Riegel 2006, Ziermann 2006). Zur Fixation der Patella am medialen Rollkamm der Trochlea kommt es, wenn die Patella bei starker Streckung über den proximalen Rand der Gelenkfläche bewegt und gleichzeitig medial gezogen wird. Dieses Geschehen wird als „Schildern“ bezeichnet (Maierl et al. 2012).

2.6.2. Wachzustand

Während des Wachzustandes stehen die Pferde auf allen vier Füßen oder laufen in ihrer Box (Williams et al. 2008). Der entspannte Wachzustand wird im Zusammenhang mit Schildern beschrieben (Kalus 2014).

2.6.3. Leichtschlaf

Der Leichtschlaf wird zu 18,6 % der GSZ stehend verbracht, zu 6,3 % in Brustlage und zu 2,2 % in Seitenlage (Kalus 2014). Pferde bevorzugen für die Leichtschlafphasen bestimmte Plätze in ihrer Box, vor allem die Ecken. Die Kopf-Hals-Position wird oberhalb des Widerristes getragen, wobei häufig eines der beiden Hinterbeine entlastet wird (Williams et al. 2008). Boyd et al. (1988) bezeichnen das Dösen im Stehen als die meiste vorkommende Art des Ruhens während des Tages (Boyd et al. 1988).

2.6.4. Slow-Wave-Schlaf

SW-Schlaf kann sowohl im Liegen, als auch im Stehen stattfinden (Williams et al. 2008, Güntner 2010, Kalus 2014), wobei er am häufigsten in Brust-Bauch-Lage auftritt (Dallaire et al. 1974). Oft können eine tiefe, relaxierte Kopf-Hals-Haltung und das Entlasten eines Hinterbeines im Stehen beobachtet werden (Kalus 2014). Die Ohren sind zur Seite oder nach hinten geklappt (Williams et al. 2008). Der SW-Schlaf wird zu 40,0 % der GSZ stehend verbracht, zu 22,7 % in Brustlage und zu 3,1 % in Seitenlage (Kalus 2014).

2.6.5. REM-Schlaf

REM-Schlaf findet nur im Liegen statt (Hale et al. 1980, Kalus 2014, Fuchs 2017), wobei er sowohl in Brustlage mit aufgestütztem Kopf, als auch in Seitenlage mit ausgestreckten Extremitäten beobachtet werden kann (Kalus 2014). Trotz der kompletten körperlichen Relaxation können im REM-Schlaf Gliedmaßenzuckungen auftreten (Kalus 2014). Der REM-Schlaf wird zu 12,4 % der Gesamtschlafenszeit in Brustlage und zu 3,1 % der GSZ in Seitenlage verbracht. REM-Schlaf ähnliche Gehirnströme von 5-10 Sekunden Dauer

konnten auch im Stehen beobachtet werden, wurden aufgrund ihrer kurzen Dauer allerdings nie als richtige REM-Schlafphasen gewertet (Kalus 2014). Williams et al. (2008) beobachteten REM-Schlaf bei einigen Pferden auch im Stehen. Sobald der charakteristische Verlust der Muskelentspannung einsetzte, knickten die Pferde mit ihren Vorderfüßen ein und fielen teilweise hin, falls sie nicht rechtzeitig aufwachten (Williams et al. 2008). Ähnliches Verhalten wurde auch von Fuchs (2017) beschrieben.

2.7. Abhängigkeit von Körperlage und Gesamtschlafenszeit

Gesunde Pferde verbringen über Nacht 91,5 Minuten (47,3 % der GSZ) im Stehen, 94,5 Minuten in Brustlage (44,2 % der GSZ) und 12 Minuten (8,5 % der GSZ) in Seitenlage. REM-Schlaf verbringen gesunde Pferde nachts im Mittel 25,6 Minuten (12,2 % der GSZ) in Brustlage und 5,7 Minuten (3,1 % der GSZ) in Seitenlage. 78,5 Minuten (40 % der GSZ) wird SWS-Schlaf im Stehen, 47 Minuten (22,7 % der GSZ) in Brustlage und 6,2 Minuten (3,1 % der GSZ) in Seitenlage verbracht. Leichtschlaf wird 21,9 Minuten (18,6 % der GSZ) im Stehen, 13,7 Minuten (6,3 %) in Brustlage und 5,0 Minuten (2,2 % der GSZ) in Seitenlage verbracht (Kalus 2014). Güntner et al. (2010) stellten fest, dass die beobachteten Pferde $13,0 \pm 15$ % ihrer Gesamtschlafzeit im Liegen verbrachten (Güntner 2010).

3. Schlafverhalten junger Individuen

Bei Säuglingen und Kindern folgen Veränderungen im Schlaf einem charakteristischen Reifungsverlauf (Carno et al. 2003). Diese Veränderungen werden vom Zusammenspiel des physiologischen Reifegrads der Säuglinge, Umweltfaktoren und verhaltensbedingten Selbstregulationsfähigkeiten beeinflusst (France et al. 1999). Das EEG von Menschen verändert sich im Laufe des Lebens und erreicht sein endgültiges Aussehen im Lebensalter von 30 Jahren (Blinowska et al. 2006).

3.1. Fohlen

Der Schlafbedarf vom Fohlen reduziert sich zum erwachsenen Pferd deutlich (Zeitler-Feicht 2008). Vor polysomnographischen Messungen, durch welche Schlafstadien verifiziert werden können, wurden Schlafstadien automatisch an Körperlagen gebunden. So stellten Boy et al. 1979 fest, dass Fohlen 15 % der Zeit pro 24 Stunden im REM-Schlaf verbrachten (Seitenlage), SWS nahm 17,9 % der Zeit ein und Leichtschlaf im Stehen betrug 8,1 % (Boy et al. 1979). Auch Crowell-Davis (1994) bezeichnete Phasen längerer Immobilität als Ruhephasen. Während der ersten Lebenswoche verbrachten die Fohlen tagsüber (05.00-21.00 Uhr) 31,8 % der gemessenen Zeit liegend und dabei schlafend (Crowelldavis 1994).

3.1.1. Polysomnographie

In einer Untersuchung zur Epilepsie bei Araberfohlen brachten Aleman et al. 2006 17 Elektroden auf Fohlenköpfen nach dem Schema der California Davis Universität an (s. Abb. 2) (Aleman et al. 2006). Auch Toth et al. (2012) implantierten rostfreie Stahlnadelelektroden subkutan nach dem in Abbildung 2 gezeigten modifizierten Schema der California-Davis-Universität (Toth et al. 2012). 1998 brachte Lewin spezielle Masken an Fohlen an, die als Halterung für sieben Elektroden dienten, um die Gehirnströme der Fohlen zu messen (Lewin 1998). Mysinger et al (1985) klebten sechs Scheibenelektroden mit einer speziellen Elektrodenpaste auf den Kopf der Fohlen auf, wobei die zu beklebenden Stellen vorher mit Isopropylalkohol entfettet und gereinigt wurden (Mysinger et al. 1985).

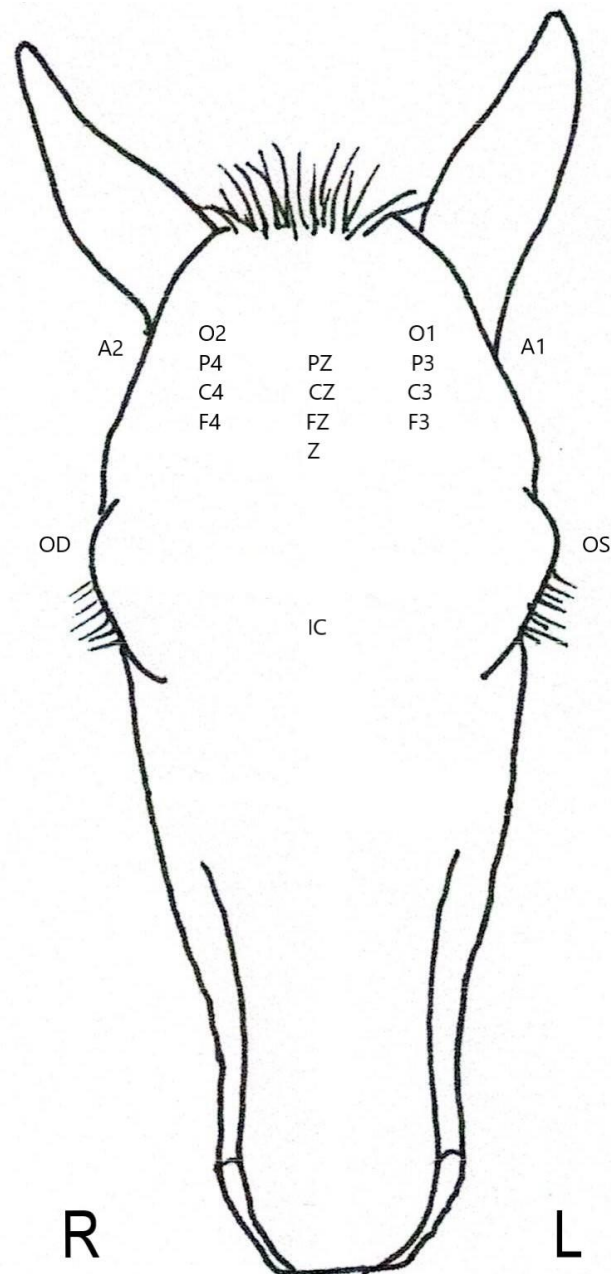


Abbildung 2: Elektrodenanbringungsschema für Fohlen der California-Davis-Universität: z = Mittellinie, O = okzipital, A = temporal, P = parietal, C = zentral, F = frontal, Z = Erdung, IC = intercanthus, OD = rechtes Auge, OS = linkes Auge (nach Aleman et al. 2006)

3.1.1.1. Wachzustand

Das EEG bei wachen Fohlen zeigt mit 2-6 Hz eine niedrige Frequenz mit Spannungen von 20-90 μ V, die teilweise von einer etwas schnelleren Frequenz von 20-30 Hz und Spannungen von 5-25 μ V überlagert wurden (Mysinger et al. 1985). Im Wachzustand musste bei Toth et al. (2012) ein Fohlen aus der Auswertung ausgeschlossen werden, da die Bewegungsartefakte zu groß waren (Toth et al. 2012). Die Fohlen von Lewin (1998) waren zwischen 38 und 124

Tage alt. Das EEG-Bild am stehenden Fohlen war durch eine Grundtätigkeit im Delta/Theta-Bereich von ca. 2-7 Hz geprägt. Die Spannungshöhe schwankte zwischen 50 und 140 μ V. Auch schnellere Frequenzen von ca. 18-25 Hz bei Amplituden von 5-15 μ V waren zu erkennen. Bei älteren Fohlen traten vermehrt frequenzstabile Wellen mit etwa 10-14 Hz und Amplituden von durchschnittlich 50 μ V auf (Lewin 1998). Bei einem gesunden Vollblutfohlen konnten geringe Mengen 9-10 Hz α -Aktivität bei einer Grundaktivität von 4-7 Hz θ -Aktivität festgestellt werden (Baird 1973).

3.1.1.2. Non-REM-Schlaf

Aleman et al. stellten 2006 bei mehreren Fohlen in sediertem Zustand Schlafspindeln und K-Komplexe fest, woraufhin sie diese Schlafstadien dem Non-REM-Schlaf zuordneten. Die Autoren beschrieben eine Hintergrundaktivität mit hohen Amplituden bei niedriger Frequenz (Aleman et al. 2006).

Im entspannten Zustand zeigten die Fohlen bei Mysinger et al (1985) irreguläre EEG-Wellen mit Frequenzen von 1-3 Hz bei Spannungen von 50-100 μ V, welche von 3-6 Hz- und 10-80 μ V-Wellen unterbrochen wurden. Gelegentlich konnten auch Schlafspindeln beobachtet werden (Mysinger et al. 1985). Auch Alemann et al. konnten bei all ihren Messungen Zustände des Leichtschlafs feststellen, welche aber nicht im Detail beschrieben werden (Aleman et al. 2006).

3.1.1.3. REM-Schlaf

Aleman et al. (2006) konnten bei einem Fohlen REM-Schlaf beobachten und beschrieben intermittierend auftretende anfallsartige Entladungen (Aleman et al. 2006).

3.1.2. Schlafverhalten im Tagesverlauf

Tyler (1972) konnte bei den Beobachtungen von New-Forrest Ponys keine Hauptruhezeit am Tag ausmachen. Allerdings verbrachten die beobachteten Fohlen nachmittags signifikant weniger Zeit ruhend als vormittags. In den frühen Morgenstunden zeigten die Fohlen ein vermehrtes Ruheverhalten (Tyler 1972). Crowell-Davis (1994) beobachteten, dass Fohlen innerhalb ihrer ersten Lebenswoche 35,4 % der Zeit ruhend verbrachten, wobei ein großer Anteil des Ruhens im Stehen zwischen 09.00 und 17.00 Uhr stattfand (Crowell-Davis 1994).

3.1.3. Schlafverhalten in Abhängigkeit von der Körperlage

Das Ruhen im Stehen begann bei vorhergehenden Beobachtungen bereits am ersten Lebenstag der Fohlen (Boyd et al. 1988, Crowell-Davis 1994). Während der ersten Lebenswoche verbrachten die Fohlen durchschnittlich 3,6 % ihrer Zeit

mit Dösen im Stehen, was sich in Woche 13 auf 23 % steigerte (Crowell-Davis 1994).

3.1.4. Schlafverhalten in Abhängigkeit des Alters

Das Ruheverhalten der Fohlen unterscheidet sich zu Beginn des Lebens deutlich von dem erwachsener Pferde. Wenn die Fohlen älter werden, gleicht sich das Ruheverhalten mehr und mehr dem der adulten Tiere an (Tyler 1972, Boy et al. 1979, Crowell-Davis 1994, Murase et al. 2018). Die Gesamtzeit, die ruhend verbracht wird, ist während der ersten drei Lebensmonate relativ gleichbleibend. Danach nimmt die Gesamtruhezeit deutlich ab (Tyler 1972). Während der ersten Lebenswoche konnte bei Fohlen tagsüber eine Gesamtruhezeit von 35,4 % beobachtet werden, in Woche neun dagegen nur noch 22,6 % (Crowell-Davis 1994).

3.1.5. Gehirnströme während der Sedation

Die mit Xylazin sedierten Fohlen zeigten EEG-Wellen mit einer Frequenz von 1-3 Hz mit hohen Spannungen zwischen 10-200 μ V. Auch Schlafspindeln konnten beobachtet werden (Mysinger et al. 1985). Auch bei Aleman et al. 2006 zeigten sich bei den sedierten Fohlen Schlafspindeln und K-Komplexe im Non-REM-Schlaf. Eines von 13 Fohlen zeigte während der Messung auch REM-Schlaf (Aleman et al. 2006). Baird beschreibt beim gesunden mit Acepromazin sedierten Fohlen Theta-Aktivität als dominanten Rhythmus mit Einschüben von Alpha- und teilweise auch Delta-Frequenzen (Baird 1973).

3.1.6. Gehirnströme unter Zwangsmaßnahmen

Unter Zwangsmaßnahmen zeigen die EEGs der Fohlen Schlafspindeln (14,3 Hz, 71,8 μ V), SWS-Schlaf (64,8 μ V-150,5 μ V) und K-Komplexe (197,6 μ V). Im Allgemeinen konnten während der Zwangsmaßnahmen Episoden des Wachzustandes, des Leichtschlafs und des SWS-Schlafes beobachtet werden (Toth et al. 2012).

3.1.7. Gehirnströme erkrankter Fohlen

Baird et al (1973) konnten bei der Messung der Hirnströme eines „Dummy“-Fohlens kaum normale Frequenzen feststellen. Bei einer sonst völlig diffusen Aktivität konnten recht kontinuierliche 2-3 Hz δ -Aktivität beobachtet werden (Baird 1973). Aleman et al. (2006) beschrieben in ihrer Studie zu idiopathischer Epilepsie bei Araberfohlen Spikes (Dauer <70 ms), Sharp Waves (70-200 ms) und Entladungen von Spikes und sharp-waves oder sogar Spike-Komplexe. Die meisten dieser Graphoelemente waren in den zentralen Ableitungen des EEG's

zu erkennen. Bei einem Großteil der Fohlen waren auch kurze Abschnitte (<2 sek) von Theta-Wellen zu erkennen (Aleman et al. 2006).

3.2. Kinder

3.2.1. Polysomnographie

Gesunde Kinder schlafen bis zum 30. Lebenstag 71 % der Messdauer, wobei 16,1 % Übergangsphase, 43,3 % NREM-Schlaf und 40,6 % REM-Schlaf sind (Daftary et al. 2019). Auch in anderen Studien wurden Schlafenszeiten von Neugeborenen mit bis zu 2/3 des Tages beschrieben (Mindell et al. 1999).

3.2.1.1. Bestimmung der Schlafstadien

Die Richtlinien der AASM unterteilen die Schlafstadien bei Neonaten in NREM-Schlaf, REM-Schlaf und Übergangsphasen (Berry 2018). Andere Autoren benennen die verschiedenen Schlafstadien als „Ruhigen Schlaf“ (analog zum NREM-Schlaf) und „Aktiven Schlaf“ (analog zum REM-Schlaf) (Carno et al. 2003, Mirmiran et al. 2003). Schlafapnoe von bis zu 20 Sekunden wird bei Neonaten als physiologisch angesehen (Carno et al. 2003).

3.2.1.2. Fetalen Schlaf

Bei Föten können abwechselnde Episoden von ruhigem und aktivem Schlaf während der letzten zehn Wochen der Schwangerschaft beobachtet werden (Groome et al. 1995, Mirmiran et al. 2003). Andere Autoren fanden heraus, dass sowohl Schlaf, als auch Schlafzyklen zwischen der 26. und 28. Schwangerschaftswoche beginnen (Graven et al. 2008). Ab der 30. Schwangerschaftswoche kann zwischen ruhigem und aktivem Schlaf unterschieden werden (De Weerd et al. 2003). Anhand von Frühgeborenen wurden die Schlafgewohnheiten im Gegensatz zu normal Geborenen überprüft. Die Menge an ruhigem Schlaf nimmt mit zunehmendem Alter signifikant zu, wobei die Menge an aktivem Schlaf keine signifikanten Unterschiede im Altersvergleich zeigt. Die Menge an Schlafstadien, die man nicht zuordnen kann (Übergangsstadien), nimmt mit zunehmendem Alter deutlich ab (Mirmiran et al. 2003).

3.2.1.3. Neonataler Schlaf

Beim Neugeborenen werden Episoden von aktivem Schlaf (Bewegung, Rapid-Eye-Movements, irreguläre Atmung mit Apnoe-Phasen) und von ruhigem Schlaf (ruhiges Liegen, wenig Augenbewegungen, regelmäßige Atmung) beobachtet (Carno et al. 2003). Während des aktiven Schlafs werden im EEG

gemischtfrequente Sequenzen mit vorherrschender Theta-Aktivität bei einer Amplitude von 40-80 μV festgestellt. Im EOG sind sowohl REMs als auch SEMs und isolierte Augenbewegungen zu erkennen. Im ruhigen Schlaf werden bei Neugeborenen vorherrschend Delta-Sequenzen mit Amplituden von 50-150 μV festgestellt (Mirmiran et al. 2003). Die langsamen Delta-Wellen dominieren das Schlaf-EEG bei Neugeborenen und werden ab einem Alter von etwa zwölf Monaten vermehrt von Theta-Wellen abgelöst (Blinowska et al. 2006). Bei Neonaten beginnen Schlafzyklen mit aktivem Schlaf, wohingegen sie bei älteren Kindern und Erwachsenen mit NREM-Schlaf beginnen (Scher 2000). Alpha-Rhythmus kann innerhalb der ersten zwei Lebenswochen nicht beobachtet werden, Delta-Wellen dagegen bei 86 % der Neugeborenen (Verma et al. 2019). REM-Schlaf stellt den Hauptanteil der Schlafenszeit bei Neugeborenen dar (Blinowska et al. 2006). Während des Tages (zwischen 09.00 und 15.00 Uhr) verbringen Neugeborene durchschnittlich 111,5 Minuten im NREM-Schlaf, 105,3 Minuten im REM-Schlaf und 40 Minuten im Übergangsstadium (Daftary et al. 2019).

3.2.1.4. Säuglings-Schlaf

Nach circa einem Monat Lebenszeit verlagert sich die Hauptschlafenszeit zur Nacht hin, wobei auch in diesem Alter noch kein Einfluss von externen Faktoren (wie z.B. circadianer Rhythmus) zu erkennen sind (Carno et al. 2003). Andere Autoren beschreiben eine deutliche Verlagerung der Schlafenszeit in die Nacht nach drei Monaten (Mirmiran et al. 2003). Slow-Wave-Schlaf setzt nach 2-5 Monaten (Berry 2018), bzw. nach 3-6 Monaten (Mindell et al. 1999) ein und wird als Zeichen des Wachstums des cerebellaren Cortex gewertet. Eine deutliche Zunahme von ruhigem Schlaf und eine deutliche Abnahme von aktivem Schlaf kann während der ersten drei Monate im Leben der Säuglinge beobachtet werden (Mirmiran et al. 2003). Nach drei Monaten Lebensdauer zeigen 88,9% der Neugeborenen Alpha-Rhythmus (Verma et al. 2019). Säuglinge im Alter von <45 Tagen verbringen nachts 79,9 % der Messzeit mit Schlafen. Durchschnittlich 53,2 % der Zeit werden im REM-Schlaf und 45,9 % im NREM-Schlaf verbracht (Duenas-Meza et al. 2015).

3.2.1.5. Kleinkinder-Schlaf

Im Alter von einem Jahr schlafen die Kinder durchschnittlich 15 Stunden des Tages, was bis zum Alter von vier Jahren auf 12 Stunden reduziert wird (Sadeh et al. 2000). Während des ersten Lebensjahres steigt der Anteil an ruhigem Schlaf deutlich an und die Länge der jeweiligen Schlafzyklen wird länger (Ficca et

al. 2000). Bis zur Vollendung des zweiten Lebensjahres sinkt die Gesamtschlafenszeit in Summe. Dabei reduziert sich die Zeit, die im aktiven Schlaf verbracht wird sowie die Übergangsphasen, wohingegen der Anteil des ruhigen Schlafes und der Anteil des Wachzustandes deutlich ansteigt (Louis et al. 1997). Nachts verbringen Kinder im Alter von 10-18 Monaten durchschnittlich 83,7 % der Messzeit mit schlafen. Davon sind 23,7 % REM-Schlaf und 76,3 % NREM-Schlaf (Duenas-Meza et al. 2015)

3.2.1.6. Medizinischer Nutzen

In der Humanmedizin werden neonatale EEGs genutzt, um prognostische Aussagen über die neurologische Entwicklung neugeborener Babys zu treffen. So ist es möglich, anhand von EEGs von frühgeborenen Kindern prognostische Aussagen zur geistigen Langzeitentwicklung bis hin zu epileptischen Anfällen zu treffen, wobei die Hintergrundaktivität und verschiedene pathologische Graphoelemente beurteilt werden (Almubarak et al. 2011). Auch in anderen Studien wurde beschrieben, dass klinisch auffällige Neugeborene mit physiologischem EEG eine günstige Langzeitprognose haben, wohingegen Neugeborene mit gewissen EEG-Auffälligkeiten als prognostisch ungünstig zu bewerten sind (Monod et al. 1972). Außerdem lassen die Beobachtungen des Schlafverhaltens Rückschlüsse auf Entwicklungsverzögerungen und Verhaltensprobleme zu (Spruyt et al. 2008). Es wurde gezeigt, dass durch das Schlaf-Wach-Verhalten Rückschlüsse auf die Gehirnentwicklung gezogen werden können (Mirmiran et al. 2003). Auch bei der Überprüfung der korrekten Funktion der Sehbahnen werden in der Humanmedizin bei Neugeborenen polysomnographische Untersuchungen durchgeführt (Cubero-Rego et al. 2019). Bei der Versorgung Neugeborener ist darauf zu achten, dass Schlaf erhalten und Schlafzyklen eingehalten werden, da diese für die neurosensorische Entwicklung unerlässlich sind (Graven et al. 2008).

3.2.1.7. Graphoelemente

Ein Überblick über die Graphoelemente und Frequenzbereiche und deren zeitliches Auftreten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Das Auftreten von Schlafspindeln beginnt mit sechs Wochen und soll spätestens im Alter von drei Monaten vorhanden sein (Crowell et al. 1982, Robert 1982). Bei Kindern erscheinen Schlafspindeln zum einen mit 11,0-12,75 Hz in den frontalen Ableitungen, zum anderen mit 13,0-14,75 Hz in den centroparietalen Ableitungen. Zu beachten ist auch das asynchrone Auftreten von Schlafspindeln bei Kindern unter zwei Jahren (Grigg-Damberger et al. 2007). In der

Humanmedizin wird das verzögerte Auftreten von Schlafspindeln als Zeichen geistiger Retardierung gesehen (Robert 1982, Shibagaki et al. 1982, De Gennaro et al. 2003). Anhand des zeitlichen Auftretens spindelähnlicher Ausbrüche kann durch das EEG Prä maturität und durch die Verteilung und Morphologie der Schlafspindeln innerhalb der beiden Gehirnhälften einseitige Hirnschäden festgestellt werden (Robert 1982).

K-Komplexe treten frühestens fünf Monate nach der Geburt auf und sind normalerweise sechs Monate nach der Geburt vorhanden (Grigg-Damberger et al. 2007).

Das Auftreten von Vertex-Zacken beginnt 16 Monate post-partem und sind am besten in den zentralen Ableitungen zu sehen (Grigg-Damberger et al. 2007).

Tabelle 4: Zeitliches Auftreten von Frequenzbereichen und Graphoelementen in der Humanmedizin nach den AASM-Richtlinien nach Berry (Berry 2018)

Frequenzbereiche und Graphoelemente	Alter beim erstmaligen Auftreten
Schlafspindeln	6 Wochen bis 3 Monate nach der Geburt
K-Komplexe	3-6 Monate nach der Geburt
Slow-Wave-Aktivität	2-5 Monate nach der Geburt
Dominierende Hintergrundaktivität	
Frequenz von 3,5-4,5Hz	3-4 Monate nach der Geburt
Frequenz von 5-6Hz	5-6 Monate nach der Geburt
Frequenz von 7,5-9,5Hz	3 Jahre
Hauptfrequenz von 9Hz	9 Jahre
Hauptfrequenz von 10Hz	15 Jahre
Vertex-Zacken	4-6 Monate nach der Geburt
Hypnagoge Hypersynchronizität	3-6 Monate nach der Geburt

3.3. Katzenwelpen

Bei Studien von Lewis et al. 2012 wurden Katzenwelpen 15 rostfreie Stahlelektroden subkutan eingesetzt, wobei bei den zwei und vier Wochen alten Welpen aufgrund der Kopfgröße nur acht Elektroden verwendet wurden. Auffallend war, dass bei den zwei Wochen alten Katzen eine Diskontinuität im

aufgezeichneten Elektroenzephalogramm erkennbar war. Die Diskontinuität verschwand bei der Messung von vier Wochen alten Welpen. Die Synchronizität der beiden Hemisphären war ab der ersten Messung vorhanden. Bei zwei und vier Wochen alten Katzen war eine niedrige Amplitude zwischen 4,6 und 19,2 μV erkennbar. Delta-Wellen konnten in allen Ableitungen gefunden werden. Schlafspindeln wurden ab einem Alter von vier Wochen mit einer Frequenz von 8-13 Hz beobachtet. In allen Gehirnregionen konnten scharfe Spitzen bei zwei Wochen alten Welpen erkannt werden (Lewis et al. 2011). Marley et al. stellten 1963 kleine Mengen an elektrischer Aktivität über dem parietalen, okzipitalen und temporalen Cortex neugeborener Katzenwelpen fest. Im aufgezeichneten EEG waren 5-8 Sekunden lange Frequenzen mit nur 1-3 Hz, die manchmal von rhythmischeren 5-10 Hz-Intervallen unterbrochen wurden, erkennbar. Die Amplitude überstieg niemals 100 μV (Marley et al. 1963). Im Gegensatz zu erwachsenen Katzen konnte der Wachzustand nicht vom Schlaf unterschieden werden. Solange die Welpen satt waren und es warm war, bewegten sie sich kaum. Auf Umweltreize reagierten sie nicht. Auf direkte Manipulation reagierten die Welpen mit Lautäußerungen, aber nicht mit Veränderungen im EEG. Während der ersten zwei Wochen stieg die elektrokortikale Aktivität, sodass SW-Schlaf öfter vorkam. Nach den ersten zwei Lebenswochen konnten Manipulationen an den Tieren auch im EEG wahrgenommen werden. Ab dem Zeitpunkt des Augenöffnens der Welpen war ein reges EEG mit deutlicher Reaktion auf Umweltreize erkennbar. Ab einem Alter von drei bis vier Wochen zeigte das EEG sehr starke Ähnlichkeit zu dem von erwachsenen Katzen (Marley et al. 1963).

3.4. Kälber

Rhythmische Wellen mit Frequenzen von 6-9 Hz (α -Rhythmus) treten bei zwei Wochen alten Kälbern in entspanntem Zustand vor allem in der okzipitalen Region und im Vertex auf. Die Dauer dieser α -Wellen liegt unter 30 Sekunden. Die Stärke der Frequenzen in der okzipitalen Region von 7,5-10 Hz nimmt nach der sechsten Lebenswoche deutlich zu. Nach der siebten Woche ist die Frequenz mit 18-30 Hz am höchsten (Takeuchi et al. 1998). Kälber verbringen 25 ± 2 % des Tages schlafend, was in 50 ± 22 Episoden von jeweils im Mittel 5 ± 2 Minuten stattfindet. NREM-Schlaf machte 55 ± 7 % und REM-Schlaf 45 ± 7 % der Gesamtschlafzeit aus (Hänninen et al. 2008). Liegend verbringen Kälber 58 ± 7 % der Zeit, davon 5 ± 2 % in Seitenlage. Die durchschnittliche Dauer der jeweiligen Phasen sind 6 ± 2 Minuten im Wachzustand, $3,0 \pm 0,7$ Minuten im NREM-Schlaf und $2,0 \pm 0,4$ im REM-Schlaf (Hänninen et al. 2008).

4. Liegeverhalten

4.1. Adulte Pferde

4.1.1. Domestizierte Pferde

Zum Liegeverhalten adulter domestizierter Pferde gibt es bereits einige Studien, die zum Teil durch Direktbeobachtungen (Boyd et al. 1988, Steidele 2011), Videoaufzeichnungen (Zeitler-Feicht et al. 2000, Fader 2002, Baumgartner 2012, Kalus 2014), zum Teil durch Accelerometer (Großheim et al. 2017) oder auch durch eine Kombination der beiden Techniken (Wille 2010, Schlender 2012, Burla et al. 2017) ausgewertet wurden. In der Literatur widersprechen sich die Angaben zum Einfluss der Halteform der Pferde auf deren Schlafverhalten. So stellte Wille (2010) deutliche Unterschiede im Liegeverhalten der Pferde in unterschiedlichen Haltungssystemen fest (Wille 2010), wohingegen andere Autoren angaben, dass das Liegeverhalten adulter Pferde unabhängig davon ist, ob die Pferde in Einzelboxenhaltung oder Gruppenhaltung untergebracht sind (Fader 2002, Chaplin et al. 2010).

4.1.2. Boxenhaltung

Gesunde Pferde legen sich jede Nacht nieder. Im Mittel lagen gesunde erwachsene Pferde in den Untersuchungen von Kalus et al. (2014) $132,0 \pm 57,5$ Minuten pro Nacht, was 32,5 % der Messdauer entsprach. Davon verbrachten die Pferde im Mittel $111,9 \pm 51,1$ Minuten (84,7 % der Gesamtliegezeit) in Brustlage und $20,2 \pm 15,8$ Minuten (15,3 % der Gesamtliegezeit) in Seitenlage (Kalus 2014). In einer anderen Studie wurde eine Gesamtliegezeit von 2,5 Stunden angegeben, wovon 30 Minuten in Seitenlage verbracht wurden (Littlejohn et al. 1972). Eine längere Gesamtliergedauer in Seitenlage konnte 1990 von Fraser et al. bei Pferden in Boxenhaltung beobachtet werden (Fraser et al. 1997). Die Liegezeit bei den Beobachtungen von Güntner et al. variierte zwischen den einzelnen Pferden stark. Zwei der sieben beobachteten Pferde legten sich während der Beobachtung überhaupt nicht nieder. Die Liegezeit im Mittel betrug 50,5 Minuten ($9,0 \pm 8,5$ %), es waren bis zu drei Liegephasen pro Pferd zu verzeichnen (Mittelwert $1,1 \pm 1,1$ Liegephasen/Pferd), wobei die Liegezeit hauptsächlich in Brustlage verbracht wurde. Die Seitenlage betrug maximal 10 Minuten und wurde nur von drei der sieben beobachteten Pferde eingenommen (Güntner 2010). Hoffmann (2008) konnte Liegezeiten von 148 bis 210 Minuten am Tag beobachten (Hoffmann 2008). Bei den Beobachtungen von Fader (2002) konnten bei der Boxenhaltung durchschnittlich $4,8 \pm 2,5$

Liegephasen festgestellt werden, wobei die Dauer der Seitenlagephasen 1,1 Minuten kürzer war als bei den Pferden, die in Laufstallhaltung gehalten wurden ($5,4 \pm 2,1$ Minuten pro Tag). Insgesamt nahm das Liegen insgesamt 7 % der Gesamtbeobachtungszeit ein (Fader 2002). Williams et al. konnten in ihrer Studie keine Seitenlage der Pferde beobachten (Williams et al. 2008). Eine Gesamtliegezeit von 42 Minuten innerhalb eines Beobachtungsintervalls von 15 Stunden konnte bei Pferden in Einzelhaltung festgestellt werden, was 8,6 % der Beobachtungszeit entspricht. Den größten Anteil an der Gesamtliegezeit nahm die Brust-Bauch-Lage mit 97,6 % ein, wobei die einzelnen Liegephasen durchschnittlich 40,9 Minuten andauerten. Die jeweiligen Seitenlagephasen (insgesamt 2,4 % der Gesamtliegezeit) dauerten hingegen nur 0,96 Minuten (Wille 2010). Die durchschnittliche Dauer einer Phase in Brust-Bauch-Lage betrug 5,6 Minuten (Pedersen et al. 2004). Raabymagle et al. (2006) stellten durchschnittliche Liegedauern von 13,8 Minuten (größere Box), bzw. 12,1 Minuten in Brust-Bauch-Lage und von 6,8 Minuten (größere Box), bzw. 5,4 Minuten (kleinere Box) fest (Raabymagle et al. 2006). Bei den Beobachtungen von Ruckebusch et al. (1972) konnte eine Liegedauer von 118 Minuten, was 8,2% der Gesamtmesszeit entspricht, festgestellt werden, wovon 17,3 Minuten in Seitenlage verbracht wurden (Ruckebusch 1972). Keiper et al. (1980) beobachteten, dass 26 % der Nacht im Liegen verbracht wurden (Keiper et al. 1980). Die beobachteten Pferde bei Steinhart (1937) verbrachten durchschnittlich 165,6 Minuten liegend, wobei 57,6 Minuten in Seitenlage stattfanden (Steinhart 1937).

4.1.3. Laufstallhaltung

Bei den Beobachtungen von Baumgartner (2012) konnte festgestellt werden, dass sich nicht jedes Pferd in jeder Nacht hinlegte. Die durchschnittliche Dauer der jeweiligen Liegephasen war in den Liegehallen mit $28,8 \pm 0,5$ Minuten am längsten. In Seitenlage verbrachten die Tiere durchschnittlich $27,5 \pm 1,1$ Minuten, in Brust-Bauch-Lage mit aufgestütztem Kopf $54,8 \pm 1,6$ Minuten und in Brust-Bauch-Lage ohne aufgestützten Kopf $45,2 \pm 1,8$ Minuten (Baumgartner 2012). Die Gesamtliegedauer bei Pferden in Offenlaufställen betrug bei Pollmann (2003) zwischen 63 und 73 Minuten, wobei 9 bis 15 Minuten in Seitenlage verbracht wurden (Pollmann 2003). Fader (2002) stellte bei Pferden in Laufstallhaltung eine Gesamtliegedauer von durchschnittlich 89 Minuten fest, wovon die Zeit, welche in Seitenlage verbracht wurde, durchschnittlich weniger als 15 Minuten betrug. Die Dauer der einzelnen Seitenlagephasen betrug im Mittel $5,4 \pm 2,1$ Minuten. Im Durchschnitt wurden 2,6 Liegephasen beobachtet und das Liegen nahm 6 % der

Gesamtbeobachtungszeit ein (Fader 2002). In einer weiteren Beobachtungsstudie zum Liegeverhalten von Pferden in Offenlaufställen wurden Gesamtliegedauern von 72 Minuten festgestellt, wovon 42 bis 67 Minuten in Brust-Bauch-Lage und drei bis 28 Minuten in Seitenlage verbracht wurden. Es wurden 1,9 bis 2,6 Liegephasen bei den Pferden beobachtet (Zeitler-Feicht et al. 2000). Bei einer 15-stündigen Beobachtungsstudie gaben Wille et al. (2010) an, dass Pferde in Gruppenhaltung 81 Minuten im Liegen verbringen, was einem prozentualen Anteil von 20,4 % entspricht. Von der Gesamtliegezeit wurden 91,4 % in Brust-Bauch-Lage verbracht, wobei die Dauer der einzelnen Liegephasen im Mittel 77,35 Minuten betrug und 8,6 % in Seitenlage, wobei eine einzelne Liegephase im Mittel 7,3 Minuten andauerte (Wille 2010). Hoffmann (2008) beobachtete Liegezeiten von 182 bis 275 Minuten pro Tag (Hoffmann 2008). Die Gesamtliegezeit betrug bei Freisler et al. (2004) $130,6 \pm 51,9$ Minuten, wobei die durchschnittliche Liegedauer $34,0 \pm 18,8$ Minuten betrug. Im Schnitt legten sich die Pferde fünfmal nieder (Freisler et al. 2014). Auch Schlender (2012) beobachtete Gesamtliegezeiten von etwa zwei Stunden (Schlender 2012). Die durchschnittliche Liegedauer betrug bei Pferden in Laufstallhaltung im Durchschnitt über 20 Minuten (mind. 5 Minuten; max. 226 Minuten), wobei große interindividuelle Unterschiede zu beobachten waren. Die Pferde legten sich zwischen ein- bis sechsmal pro Nacht ab (Großheim et al. 2017). Die Zeit, die in Seitenlage verbracht wird, wurde von Manton (2004) mit 11 Minuten angegeben (Manton et al. 2004). Etwas mehr Zeit in Seitenlage mit circa 23 Minuten wurde in einer anderen Studie festgestellt, wobei die Pferde sich durchschnittlich dreimal pro Tag hinlegten (Muggenthaler et al. 2010). Shetland-Ponys in einem Laufstall verbrachten $12,6 \pm 2,7$ % nachts liegend (Hunter et al. 1989). Dallaire und Ruckebusch stellten 1974 bei Beobachtungen mehrerer Ponys fest, dass sich diese sechs bis sieben Mal pro Nacht niederlegten. Davon verbrachten sie ca. vier Stunden in Brust-Bauch-Lage und nur eine Stunde in Seitenlage (Dallaire et al. 1974).

4.1.4. Freilebende Tiere

In einer Herde Przewalski-Pferde wurde die Liegezeit in Seitenlage mit $1,2 \pm 0,5$ % der Gesamtmesszeit und die in Brustlage verbrachte Zeit mit $4,1 \pm 3,0$ % angegeben (Boyd et al. 1988). Zu ähnlichen Ergebnissen kam Wischer (2009), der eine wildlebende Przewalski-Pferdeherde beobachtete und 5,4 % Gesamtliegezeit feststellte (Wischer 2009). Auch verwilderte Pferde bei Wollenweber (2007) verbrachten 3 % eines 24-Stunden Tages liegend und 18,4 % der Zeit ruhten sie im Stehen (Wollenweber 2007). Ransom (2009)

beobachtete bei freilebenden Pferden eine Gesamtruhezeit von 25-35 % während des Tages (Ransom et al. 2009). Steidele et al. (2011) stellten einen Schwerpunkt des Ruheverhaltens am Vormittag und Mittag bei einer Herde freilebender Przewalski-Pferde fest. Brustlage mit aufgestütztem Kopf wurde für 3,7-11,7 Minuten, Brustlage ohne aufgestützten Kopf für 13,0-21,7 Minuten und die Seitenlage für 6,0-12,0 Minuten eingenommen (Steidele 2011). Freilebende Camargue-Pferde verbrachten 0,2-1,0 % der Gesamtmesszeit in Seitenlage und 1,0-6,0 % der Gesamtmesszeit in Brust-Bauch-Lage (Duncan 1980). Auch Asturcon-Ponys verbrachten 0,05-2,4 % der Beobachtungszeit in Seitenlage und 1,8-4,6 % der Beobachtungszeit in Brust-Bauch-Lage (Rifa 1985). In anderen Studien wurde das Liegeverhalten mit durchschnittlich $0,6 \pm 0,7$ % angegeben (Sweeting et al. 1985). Mehrere Autoren stellten unterschiedliches Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Jahreszeit fest. Im Winter konnten bei New-Forest Ponys nur sehr wenige und kurze (durchschnittliche Länge 39,9 Minuten) Liegephasen beobachtet werden (Tyler 1972).

4.1.5. Stuten mit Fohlen bei Fuß

Das Liegeverhalten von Stuten mit Fohlen bei Fuß betrug tagsüber (beobachtet wurde zwischen 05.00 und 21.00 Uhr) nur zwischen null und zwei Prozent (Crowelldavis 1994). Belgische Kaltblutstuten verbrachten 25 ± 25 % der Zeit, in denen ihre Fohlen lagen, dösend im Stehen (Barber et al. 1994). In einer anderen Studie verbrachten die Stuten tagsüber mit 13 % deutlich weniger Zeit dösend im Stehen, wobei die Hauptruhezeiten vor 09.00 Uhr und nach 17.00 Uhr stattfanden (Crowelldavis 1994). Während der ersten Lebenswoche der Fohlen ruhten die Mutterstuten nur wenig im Stehen, während die Fohlen lagen. Je älter die Fohlen wurden, desto länger dösten die Mütter im Stehen neben ihren liegenden Fohlen (Crowell-Davis 1986).

4.1.6. Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Uhrzeit

Adulte Pferde liegen nach Mitternacht signifikant häufiger als vor Mitternacht (Kalus 2014). Auch andere Autoren nennen die Zeit zwischen Mitternacht und 04.00 Uhr als Hauptzeit für das Liegen in Seitenlage (Kownacki et al. 1978, Keiper et al. 1980, Boyd et al. 1988), bzw. zwischen 00.00 Uhr und 05.00 Uhr (Hunter et al. 1989). Auch bei Pferden in Laufstallhaltung befindet sich die Hauptliegezeit zwischen Mitternacht und den frühen Morgenstunden (Keiper et al. 1980, Pedersen et al. 2004, Zeitler-Feicht 2008, Baumgartner 2012, Obergfell 2013, Großheim et al. 2017). Auch bei Arabern mit ganzjähriger Weidehaltung ist eine deutliche Häufung der Liegephasen zwischen Mitternacht und 06.00 Uhr zu

verzeichnen (Kuhne 2004). Fader (2002) beschreibt zwei Hauptliegezeiten, zum einen zwischen 22.00 und 23.30 Uhr, zum anderen zwischen 01.30 und 05.30 Uhr (Fader 2002). Freisler (2014) beschreibt drei Hauptliegezeiten. Die erste Hauptliegephase findet zwischen Mitternacht und 04.00 Uhr statt, die zweite zwischen 10.00 Uhr und 14.00 Uhr und die dritte zwischen 21.00 und 24.00 Uhr (Freisler et al. 2014). Ein Unterschied zwischen Tag und Nacht in der Zeit, die in Seitenlage verbracht wurde, konnte nicht festgestellt werden. Dagegen wurde tagsüber deutlich mehr Zeit in Brust-Bauch-Lage verbracht als nachts (Boyd et al. 1988). Die Pferde standen mehr während des Tages als während der Nacht (Boyd et al. 1988).

4.1.7. Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Einstreu

In einer Studie über das Liegeverhalten in Abhängigkeit der Boxeneinstreu lagen die Pferde zwischen null und 156 Minuten pro Nacht. Die Dauer der einzelnen Liegephasen variierte stark, abhängig von der jeweiligen Einstreu (Aoyama et al. 2004). Pferde präferieren Liegebereiche mit Einstreu im Vergleich zu Liegebereichen ohne Einstreu (Krapp 2007), wobei die Art der Einstreu keinen Einfluss auf das Liegeverhalten der Pferde hat (Hunter et al. 1989). Dies wurde durch Baumgartner et al. (2012) bestätigt, in deren Studie die Gesamtliegedauer auf Spänen mit $74,3 \pm 2,9$ Minuten signifikant ($p = 0.005$) länger war als die Liegedauer auf Gummimatten mit $62,4 \pm 2,3$ Minuten (Baumgartner 2012). Ähnliche Beobachtungen machte auch Fader (2002), der bei Pferden in Laufställen keine Zusammenhänge zwischen Liegedauer und Art der Einstreu feststellen konnte (Fader 2002). Auch Seedorf et al. (2007) konnten keine signifikanten Unterschiede des Liegeverhaltens der Pferde im Vergleich von Sägespänen zu Biokompost feststellen (Seedorf et al. 2007). Im Gegensatz dazu beschreiben Pederson et al. (2004) eine dreifach höhere Liegedauer in Seitenlage auf Stroh im Vergleich zu Sägespänen, wohingegen keine Unterschiede bei der Brust-Bauch-Lage festgestellt werden konnten. (Pedersen et al. 2004). Auch Wehrhahn et al. (2010) beobachteten eine signifikant längere Gesamtliegedauer auf Stroh im Vergleich zu Strohpellets (Wehrhahn et al. 2010). Ebenfalls stellten Mills et al. (2000) längere Liegezeiten auf Stroh, als auf Spänen oder Papier fest, wobei Späne im Vergleich zu Papier präferiert wurden (Mills et al. 2000). Die Anzahl und Dauer der in Seitenlage verbrachten Phasen war auf zerkleinerten Kokosnussschalen deutlich höher als auf Stroh und Sägemehl (Ninomiya et al. 2008). Im Gegensatz zu den bereits präsentierten Ergebnissen konnte Hauschildt (2008) keinen Unterschied im Liegeverhalten zwischen Gummimatten und eingestreuten Bereichen feststellen (Hauschildt 2008). Zum

gleichen Ergebnis kamen auch Muggenthaler et al. (2010), bei deren Studie die Pferde mit 154 Minuten Liegezeit und durchschnittlich 3,9 Ablegevorgängen auf Gummimatten keinen Unterschied zu Pferden mit Einstreumaterialien zeigten. Entscheidend dabei war allerdings der Faktor, dass die Pferde an Gummimatten gewöhnt waren. Pferde, die keine Gummimatten gewöhnt waren, bevorzugten auch in dieser Studie die Liegeflächen mit Sägespänen (Muggenthaler et al. 2010). Auch die Menge der Einstreu macht einen Unterschied in der Dauer und der Gesamtanzahl der jeweiligen Liegephasen adulter Pferde. So lagen Pferde mit nicht eingestreuten Bereichen im Stall signifikant ($p = 0,0002$) weniger als Pferde, welche eingestreute Bereiche zur Verfügung hatten. Auch die in Seitenlage verbrachte Zeit war in Ställen, die große eingestreute Bereiche zur Verfügung hatten, signifikant mehr ($p = 0,002$) als in Ställen ohne eingestreute Bereiche (Burla et al. 2017).

4.1.8. Liegeverhalten in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Fläche

Sowohl in Boxenhaltung, als auch in Laufstallhaltung, sowie bei Pferden, die in freier Wildbahn leben, ist das Ruhe- und Liegeverhalten durch den zur Verfügung stehenden Platz beeinflusst. So liegen Pferde in größeren Boxen ($2,5 \times$ Widerristhöhe) signifikant ($p = 0,002$) länger in Brust- Bauch-Lage als Pferde, die in kleineren Boxen ($1,5 \times$ Widerristhöhe (WH)) gehalten werden. Auch die durchschnittliche Dauer der jeweiligen Liegephasen in Seitenlage war in der großen Box länger (Raabymagle et al. 2006). Ähnliche Ergebnisse brachten auch Studien zum Liegeverhalten von Pferden in Laufställen. Dort verbrachten Pferde, deren Stallgröße die Mindestanforderungen ($3 \times \text{Wh}^2$ pro Pferd) unterschritt, deutlich am wenigsten Zeit in Brust-Bauch-Lage (Zeitler-Feicht et al. 2000). Auch bei den Beobachtungen von Fader et al. (2002) verlängerte sich die Liegedauer bei den Laufstallpferden mit zunehmender Liegefläche (Fader 2002). Sogar bei Przewalski-Pferden wurden bei einem größeren Auslauf 10-18% der Beobachtungszeit mit Dösen verbracht, wohingegen bei einem kleineren Auslauf nur 4-5% des Tages mit Dösen verbracht wurden (Boyd et al. 1988). Im Gegensatz dazu gibt Glade an, dass sich die Liegezeit in Brust-Bauch-Lage bei kleineren Boxen erhöht (Glade 1984).

4.1.9. Probleme beim Liegeverhalten

Viele Pferde legen sich aufgrund verschiedener Ursachen gar nicht oder nur selten nieder. Die Folgen sind REM-Schlaf-Mangel und Zusammenbrüche (Fuchs 2017), sowie eine mögliche Beeinträchtigung der körperlichen Regeneration und

der psychischen Erholung (Zeitler-Feicht 2008). Zu den Ursachen zählen Umwelteinflüsse, wie zu wenig oder mangelhafte Einstreu (Aoyama et al. 2004, Burla et al. 2017), Unsicherheit in der Herde und vor Prädatoren (Fader et al. 2004, Rose-Meierhöfer et al. 2010, Baumgartner 2012, Burla et al. 2017), häufige Stallwechsel (Kiefner 2016) als auch orthopädische Probleme. So zeigten rangniedrige Pferde bei Burla et al. (2017) mehr Liegephasen als ranghohe Pferde, wobei die Liegephasen der rangniederen Pferde deutlich kürzer andauerten (Burla et al. 2017). Auch Zeitler-Feicht et al. (2000) stellten fest, dass ranghöhere Tiere deutlich weniger Zeit in Brust-Bauch-Lage verbringen als rangniedere Tiere, und dass ranghöhere Pferde signifikant mehr Zeit in Seitenlage verbringen als ihre rangniederen Artgenossen (Zeitler-Feicht et al. 2000). Im Gegensatz dazu beschrieben Baumgartner et al. (2012) weniger Liegephasen bei rangniederen als bei ranghohen Pferden (Baumgartner 2012) und Zeitler-Feicht et al. stellten keine Unterschiede im Liegeverhalten von ranghohen und rangniederen Pferden fest (Zeitler-Feicht et al. 2000).

4.2. Fohlen

Fohlen verbringen deutlich mehr Zeit liegend, vor allem in Seitenlage, als erwachsene Pferde (Crowelldavis 1994). Etwa 70-80 % der Gesamtruhezeit wird im Liegen verbracht (Pirkelmann et al. 2008).

4.2.1. Tageseinteilung

Duncan et al. (1984) stellten geschlechterspezifische Unterschiede in der Tageseinteilung der Fohlen fest. So verbrachten Stutfohlen 41 % der Zeit mit Ruheverhalten, 18 % mit Grasens und die restlichen 42 % waren sie aktiv (Spielen, Laufen, Kontaktaufnahme mit anderen Pferden). Männliche Fohlen verbrachten 41 % der Zeit mit Ruheverhalten, 25 % mit Grasens und 34 % aktiv (Duncan et al. 1984). Schäfer (1993) konnte keinen Einfluss der Tageszeiten auf das Liegeverhalten der Fohlen feststellen, sondern ein aktivitätsabhängiges Liegeverhalten (Schäfer 1993).

4.2.2. Stehverhalten

Tateo et al. 2013 stellten während einer Beobachtungszeit von 24 Stunden fest, dass die vier Tage alten Fohlen in dieser Zeit insgesamt 174 Minuten stehend verbrachten. Die Dauer der einzelnen Stehphasen dauerte durchschnittlich drei Minuten (Tateo et al. 2013) (s. Tabelle 5). Bei Fohlen, die ohne ihre Mütter aufwuchsen, dauerten die jeweiligen Stehphasen signifikant länger als bei Fohlen, die mit ihren Müttern aufwuchsen (Tateo et al. 2013).

Tabelle 5: Dauer und Häufigkeit verschiedener Aktivitäten vier Tage alter Fohlen nach Tateo et al. (2013)

Verhalten	Dauer insgesamt (min/24h)	Häufigkeit/Frequenz	Durchschnittl. Dauer (min)
Liegen	937	39	24
Stehen	174	53,3	3
Heu fressen	37	17,6	2,1
Interaktion	32	11,3	-
Selbstständiges Spielen	36	21,7	-
Lecken	23	-	-
Urin- oder Kotabsatz	-	23	-

4.2.3. Liegeverhalten

Das Liegeverhalten von Fohlen wurde mittels triaxialen Beschleunigungsaufnehmern 2018 in Japan untersucht. In dieser Studie wurden sechs Fohlen über mehrere Monate mit den oben genannten Lagesensoren ausgestattet und das Liegeverhalten im Stall und auf der Koppel überprüft. Berücksichtigt wurden hierbei Faktoren wie das Alter der Fohlen, das Geschlecht und das Wetter. Die Autoren kamen zu den Ergebnissen, dass junge Fohlen (2-60 Tage alt) durchschnittlich $641,9 \pm 75,4$ Minuten, was 44,6 % der Gesamtmesszeit entspricht, der Zeit pro Tag liegend verbringen. Davon wurde knapp die Hälfte ($309,1 \pm 124,9$ Minuten) in Seitenlage verbracht. Im Stall verbrachten die Fohlen 56,3 % der Beobachtungszeit liegend, davon 27,4 % in Seitenlage. Auf dem Paddock dagegen verbrachten die Fohlen 16 % liegend, wovon nur 5,6 % in Seitenlage stattfanden. Ein Körperlagenwechsel von stehend zu liegend fand $26,8 \pm 7,4$ Mal pro Tag statt. Ältere Fohlen (32-152 Tage alt), die längere Zeit auf dem Paddock verbrachten, lagen 27,7 % der Zeit pro Tag und legten sich $15,3 \pm 4,2$ Mal pro Tag nieder. Die Autoren gehen davon aus, dass 10,5 Stunden liegend verbracht werden sollten, um die neonatale Gesundheit zu fördern. (Murase et al. 2018). In einer japanischen Studie wurden innerhalb der ersten Lebenswoche 48,9 % der Gesamtmesszeit liegend verbracht (Usagawa et al. 1998). Bei Beobachtungen einer Camargue-Pferdeherde wurde festgestellt, dass neugeborene Fohlen 15 % der Zeit pro 24h in Seitenlage verbringen und 17,9 % in Brust-Bauch-Lage. Ruhendes Stehen konnte zu 8,1 % in 24 Stunden

beobachtet werden (Boy et al. 1979), aber nur zu 3,6 % im Zeitraum zwischen 05.00 und 21.00 Uhr (Crowelldavis 1994). Belgische Kaltblutfohlen verbrachten während ihrer ersten Lebenswoche $39,3 \pm 3,0$ % der beobachteten Zeit (nur tagsüber) im Liegen (Brust-Bauch-Lage und Seitenlage) (Barber et al. 1994). In der ersten Lebenswoche verbrachten Welsh-Pony-Fohlen 31,8 % der Gesamtmesszeit liegend und nur 3,5 % der Zeit verbrachten sie dösend im Stehen (Crowell-Davis 1994). Schäfer (1978) beobachtete das Liegen in Seitenlage bei Fohlen zu jeder Tages- und Nachtzeit (Schäfer 1978). Tyler (1972) beobachtete bei New-Forest Ponyfohlen, dass 70-80 % der Gesamtruhezeit liegend verbracht wurden (Tyler 1972).

4.2.3.1. Dauer der Liegephasen

Beobachtungen zu der Dauer der Liegephasen tagsüber variieren in ihrer Länge, meistens jedoch dauern die Liegephasen länger als 15 Minuten an (Crowelldavis 1994). Andere Autoren konnten in der Dauer der Liegephasen einen geschlechterspezifischen Unterschied (Hengstfohlen liegen länger als Stutfohlen) und eine Abhängigkeit vom Wetter (Liegendauer im Trockenen deutlich länger als im Nassen) feststellen (Murase et al. 2018). Des Weiteren lagen die Fohlen nachts deutlich mehr als tagsüber, vor allem, wenn sie im Stall waren (Murase et al. 2018).

4.2.3.2. Liegeverhalten in Abhängigkeit von der Uhrzeit

Fohlen (2-60 Tage alt) legten sich vor allem um Mitternacht nieder (Murase et al. 2018). Tyler et al. (1972) beobachteten bei New-Forest-Ponys, dass sich die Fohlen vor allem in den Morgenstunden niederlegten. Die Herde verbrachte die meisten Nächte im Wald, weswegen die Autoren davon ausgehen, dass sich die Fohlen nachts nicht auf feuchten Grund legen wollten und deswegen am Morgen, sobald die Herde auf Grasland war, zum Liegen kamen (Tyler et al. 1972).

4.2.3.3. Veränderungen des Liegeverhaltens mit zunehmendem Alter

In ihrer Studie beschrieben Tateo et al. (2013), dass das Liegeverhalten mit zunehmendem Alter abnimmt. So verbrachten die Fohlen an ihrem 4. Lebenstag noch 937 Minuten liegend, am 114. Lebenstag nur noch 608 Minuten und am 172 Lebenstag noch 486 Minuten (Tateo et al. 2013). Die Zeit, welche liegend verbracht wird, nimmt mit zunehmendem Alter ab. In Lebenswoche 17 beträgt die Liegezeit noch 5,1 %, womit die Fohlen auch in Lebenswoche 17 noch mehr Zeit liegend verbringen als ihre Mütter. Gekennzeichnet ist die Veränderung durch einen Übergang vom liegenden zum stehenden Ruhen (Crowell-Davis 1994). Auch Tyler (1972) beobachtete bei New-Forest Ponyfohlen, dass der Anteil an

der Gesamtruhezeit, die im Liegen verbracht wird, mit zunehmendem Alter abnimmt. So wird innerhalb der ersten zwei Lebensmonate der Fohlen 70-80 % der Gesamtruhezeit liegend verbracht, wohingegen im Alter von acht Monaten nur noch 13,8 % der Gesamtruhezeit im Liegen verbracht wurden (Tyler 1972).

4.3. Liegeverhalten von Mutter und Fohlen zueinander

In einer Beobachtung konnte ein physischer Kontakt zwischen Stute und Fohlen festgestellt werden. Hierbei lagen die beiden Pferde zuerst Rücken an Rücken zueinander, kurz darauf lag das Fohlen zwischen den Beinen der Mutter. In zwei Fällen versuchten Fohlen bei der schlafenden Mutter zu trinken. Während ihrer ersten Lebenswoche legten sich die Fohlen direkt neben ihren Müttern nieder (Crowelldavis 1994). Tyler (1972) beobachtete, dass sich die Mutterstuten sehr nah zu ihren liegenden Fohlen legten (Tyler 1972). Am ersten Lebenstag war der Abstand von Mutter zu stehendem Fohlen in $96,0 \pm 1,0$ % der Zeit unter einem Meter. In $89,0 \pm 4,0$ % der Zeit betrug der Abstand zwischen Mutter und liegendem Fohlen unter einem Meter. Ein Abstand von mehr als fünf Metern konnte zu keinem Zeitpunkt am ersten Lebenstag beobachtet werden. Während der ersten Lebenswoche war der Abstand zwischen Mutter und Fohlen nicht weiter als zehn Meter (Barber et al. 1994). Auch Watts et al. (2020) beobachteten, dass der Abstand zwischen Mutterstute und Fohlen immer in einem Bereich von einem bis fünf Metern lag, wobei der Abstand zueinander tagsüber größer war als in der Dämmerung oder in der Dunkelheit (Watts et al. 2020). Fohlen legten sich mit einer höheren Wahrscheinlichkeit nieder oder ruhten im Stehen, wenn auch ihre Mutter im Stehen ruhte (Crowell-Davis 1994). Der Abstand, den Welsh-Pony Stuten und Fohlen voneinander hatten, betrug in der ersten Lebenswoche zwischen einem und fünf Metern und wurde danach mit dem Älterwerden der Fohlen immer größer. Der Abstand war sehr gering, wenn die Fohlen lagen oder die Pferde im Stehen ruhten. Während der ersten Lebenswoche verbrachten Fohlen und Mutterstute 85 ± 2 % der Zeit innerhalb eines Abstands von einem Meter und 99 ± 1 % innerhalb eines Abstands zueinander von fünf Metern. In der 21.-24. Lebenswoche der Fohlen verbrachten die Fohlen nur noch 26 ± 4 % der Zeit innerhalb eines Abstandes von einem Meter zu ihren Müttern und 52 ± 5 % der Zeit innerhalb eines Abstandes von fünf Metern (Crowell-Davis 1986). Sehr ähnliche Entfernungen von Mutter und Fohlen zueinander wurde auch von Tyler (1972) bei New-Forst Ponys beschrieben, bei denen der Abstand von Mutter zu Fohlen innerhalb der ersten Lebenstage nie über fünf Yard betrug (Tyler 1972). Smith-Funk et al. (1992) beobachteten, dass Mutterstuten neben ihren liegenden Fohlen vor allem ruhten und weniger Zeit mit

Fressen oder anderen Aktivitäten verbrachten (Smith-Funk et al. 1992). Auch bei Zebras wurde beobachtet, dass die Fohlen vor allem Anfangs nahe bei ihren Müttern bleiben (Tyler 1972, Penzhorn 1984).

5. Saugverhalten

5.1. Beschreibung des Saugvorgangs

Die verschiedenen Autoren definieren den Beginn und das Ende eines Saugvorgangs unterschiedlich. Als Beginn des Saugaktes wurde bei Crowelldavis (1985) das Anrücken des Euters gesehen, das weitere, ruhigere Saugen ließ sich unter anderem an der gleichmäßigen Kopfbewegung des Fohlens erkennen. Als Ende des Saugaktes wurde der Moment betrachtet, in dem das Fohlen seinen Kopf vom Euter entfernte (Crowelldavis 1985). Bei Duncan et al. wurde als Saugen die Zeit betrachtet, in der die Lippen des Fohlens Kontakt mit dem Euter der Mutter hatten (Duncan et al. 1984). Sobald der Kopf des Fohlens sich medial des Knies der Mutter befand, begann die Saugperiode. Unterteilt wurde der Saugakt in das Berühren des Euters mit der Nase des Fohlens, in das Saugen an sich und in kleine Pausen, in denen das Fohlen den Kontakt mit dem mütterlichen Euter verlor (Barber et al. 1994). Heitor et al. (2008) beschrieben den kompletten Saugvorgang bestehend aus einzelnen Saugphasen. Der Kontakt zur Zitze der Mutter durfte für maximal eine Minute unterbrochen werden, falls dies länger der Fall war, handelte es sich um zwei Saugvorgänge (Heitor et al. 2008). Verschiedene Autoren unterteilten die Saugakte in Versuche (Suchen der Zitze durch das Fohlen, aber Länge des Saugens unter fünf Sekunden) und erfolgreiches Trinken (Kontakt mit dem Euter für mehr als fünf Sekunden (Pluháček et al. 2010, Komarkova et al. 2013). Tyler (1972) beschreibt als Beginn des Saugvorgangs, wenn das Fohlen aufhört, gewaltsam gegen das Euter der Mutter zu stoßen und das Beenden des Saugvorganges, wenn das Fohlen die Zitze der Mutter loslässt (Tyler 1972). Carson et al. (1983) dagegen inkludieren das Anrücken des Euters zum Saugakt (Carson et al. 1983). Begonnen wird der Saugakt meist von den Fohlen, in sehr seltenen Fällen aber auch durch die Anregung des Fohlens durch die Mutter (Crowelldavis 1985, Komarkova et al. 2013). Während der ersten Lebenswoche der Fohlen konnte ein falsches Anrücken der Fohlen zwischen den Vorderbeinen der Mutter festgestellt werden (Crowelldavis 1985). Auch das Beenden des Saugvorganges wurde in deutlich mehr Fällen vom Fohlen (80,3 %) als von der Mutter (15,0 %) bestimmt (Barber et al. 1994, Komárková et al. 2011). Cameron et al. (1999) beschrieben Saugvorgänge, die weniger als fünf Sekunden andauerten, als erfolglose Saugvorgänge (Cameron et al. 1999). Die gleiche Definition benutzten auch Heitor et al. (2008), da in dieser Zeit kein Milchfluss zustande kommen kann (Whittemore 1980, Heitor et al. 2008).

5.2. Sinn des Saugvorgangs

Die ständige Verfügbarkeit von Milch ermöglicht den Fohlen mehr Zeit in Schlaf und Bewegung zu investieren (Crowelldavis 1985).

Die Zeit, die am Euter der Mutter verbracht wird, ist nicht ausschließlich als die Zeit der Nahrungsaufnahme zu betrachten (Cameron 1998, Cameron et al. 1999). Neben der Nahrungsaufnahme dient der Saugakt auch als Komfortverhalten der Fohlen (Crowelldavis 1985). Auch bei belgischen Kaltblütern wurden Saugakte, bei denen es zu keinem Milchfluss kam, als Komfortverhalten gewertet (Barber et al. 1994).

Auch Tyler (1972) beschreibt den Saugakt, in welchem kein Milchfluss zustande kommt, als Komfortverhalten der Fohlen. Die Fohlen begannen zu Saugen, wenn sie einige Zeit von ihrer Mutter getrennt waren, nachdem sie geschlafen hatten oder nachdem etwas Außergewöhnliches in ihrer näheren Umgebung passiert war (Tyler 1972).

5.3. Körperpositionen während des Saugaktes

Die häufigste Saugposition ergibt sich wie folgt: Stute und Fohlen stehen parallel zueinander, aber entgegengesetzt. Manchmal wird auch ein rechtwinkeliges Zueinanderstehen oder ein paralleles Stehen mit derselben Blickrichtung beobachtet. Diese Position nehmen Fohlen vor allem ein, wenn die Mütter beim Saugakt nicht stehen bleiben, um während des Saugens mit der Mutterstute mitlaufen zu können (Crowelldavis 1985). Nur sehr selten kann ein Saugen am Euter beobachtet werden, wenn das Fohlen seinen Kopf von hinten durch die Hinterbeine der Mutter streckt (Feist et al. 1976). Bei Przewalski-Fohlen konnte festgestellt werden, dass Fohlen und Mütter während des Saugaktes meistens mit ihrer jeweiligen linken Seite zueinanderstehen (Karenina et al. 2018). Auch Barber et al. (1994) beschreiben die Körperpositionen von Fohlen und Mutter zueinander als umgekehrt parallel zueinander. In drei Fällen konnte festgestellt werden, dass Mutter und Fohlen während des Saugaktes parallel, die Köpfe in dieselbe Richtung, zueinanderstanden. Das Suchen des Euters zwischen den Vorderbeinen konnte bei neonatalen Fohlen beobachtet werden (Barber et al. 1994). Komarkova et al. (2013) stellten fest, dass 50 % der beobachteten Saugvorgänge an der rechten Seite der Mutter stattfanden und 50 % an der linken Körperseite. Die Auswahl der bevorzugten Saugseite der jeweiligen Fohlen wurde weder beeinflusst durch das Geschlecht der Fohlen, noch durch das Alter der Mutter, noch durch den Rang in der Herde. Der einzige Faktor, der die Auswahl einer bevorzugten Seite beeinflusste, war das Alter der Fohlen. Ein

Drittel der beobachteten Fohlen wiesen eine starke Seitenpräferenz während des Saugaktes auf, wobei wiederum kein Zusammenhang mit dem Geschlecht festgestellt werden konnte (Komarkova et al. 2013). Auch Tyler (1972) beschreibt das umgekehrt parallele Stehen von Mutter und Fohlen zueinander als normale Saugposition, wobei auch in dieser Studie das Erreichen des Euters durch die Hinterbeine, vor allem bei sehr jungen Fohlen beschrieben wurde (Tyler 1972).

5.4. Häufigkeit des Saugens

Tateo et al. (2013) registrierten während einer 24-stündigen Beobachtungszeit durchschnittlich etwas mehr als 60 Saugphasen (Tateo et al. 2013). Paradis (2012) beschreibt fünf bis acht Saugvorgänge pro Stunde innerhalb der ersten Lebenswoche der Fohlen (Paradis 2012). Auch Ousey (2013) gibt vier bis sieben Saugperioden pro Stunde an (Ousey 2003). Während des ersten Lebensmonats stellten Heitor et al. (2008) $3,28 \pm 0,69$ Saugphasen pro Stunde fest, während des zweiten Monats noch $1,79 \pm 0,75$ Saugphasen pro Stunde (Heitor et al. 2008). In einer weiteren Studie wurden durchschnittlich $13,0 \pm 5,01$ Saugvorgänge in sechs Stunden beobachtet (Komárková et al. 2011). Beobachtet werden konnte, dass Welsh-Pony-Fohlen während ihrer ersten und zweiten Lebenswoche $4,0 \pm 0,5$ Mal pro Stunde saugten. In der dritten Woche konnten $2,7 \pm 0,2$ Saugphasen pro Stunde beobachtet werden. Die Frequenz des Saugens nahm mit zunehmendem Fohlenalter immer mehr ab und in Woche 21 wurden nur noch $1,3 \pm 0,1$ Saugphasen pro Stunde festgestellt. Ein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Fohlen konnte nicht beobachtet werden (Crowelldavis 1985). In einer japanischen Studie tranken die Fohlen innerhalb der ersten Lebenswoche durchschnittlich 88,2 Mal am Tag, in Woche 17 dagegen nur noch 40,2 Mal (Usagawa et al. 1998). Auch bei New Forest Ponys wurde festgestellt, dass sie während der ersten Lebenswoche viermal pro Stunde tranken, was im Laufe der ersten Monate abnahm, sodass im achten Lebensmonat nur noch ein Saugvorgang alle zwei Stunden beobachtet werden konnte (Tyler 1972). Auch Bouwman et al. (1978) beobachteten eine Saugfrequenz von vier Mal pro Stunde während der ersten Lebenswoche (Bouwman et al. 1978). Englische Vollblüter tranken während ihrer ersten Lebenswoche ca. sieben Mal pro Stunde, im Alter von 24 Wochen tranken sie nur noch einmal pro Stunde (Carson et al. 1983). Auch Smith-Funk et al. (1992) zählten während der ersten Lebenswoche $7,7 \pm 1,0$ Saugphasen pro Stunde. In der 17. Lebenswoche wurden $2,0 \pm 0,2$ Saugphasen pro Stunde festgestellt. Während des Tages konnte eine höhere Frequenz des Saugens als nachts beobachtet werden, ebenso wurde festgestellt, dass männliche Fohlen in der

frühen Laktation (bis Woche zehn) signifikant häufiger saugten als Stutfohlen (Duncan et al. 1984, Berger 1986). Widersprüchlich dazu zeigten andere Studien keine geschlechterspezifischen Unterschiede in der Häufigkeit des Saugaktes (Crowelldavis 1985, Crowell-Davis 1986, Smithfunk et al. 1992, Cameron et al. 2000). Barber et al. (1994) konnten eine Frequenz von 8 ± 1 Saugakten pro Stunde bei belgischen Kaltblutfohlen während der ersten Lebenswoche beobachten (Barber et al. 1994). Alle Autoren beschreiben einheitlich, dass die Zeit, die für das Saugen verwendet wird, mit zunehmendem Alter der Fohlen abnimmt. Boyd et al. (1988) gaben an, dass die Stuten in seiner Studie 1% der Zeit der Beobachtungsperiode mit Tränken ihrer Fohlen beschäftigt waren (Boyd et al. 1988). Das Aufsuchen des Euters nach Beunruhigungen oder nach dem Ruhen wurde von mehreren Autoren beschrieben (Tyler 1972, Schoen et al. 1976).

5.5. Länge des Saugaktes

In den Untersuchungen von Heitor et al. (2008) dauerte ein Saugvorgang während des ersten Lebensmonats im Durchschnitt $66,0 \pm 13,7$ Sekunden (Heitor et al. 2008). Ousey (2003) gibt die Gesamtdauer der Trinkvorgänge mit durchschnittlich 12 Minuten pro Stunde an (Ousey 2003). Während der ersten vier Lebenswochen dauerte die Länge eines Saugaktes durchschnittlich $1,04 \pm 0,05$ Minuten. Ab Lebenswoche 21 dauerte eine Saugphase im Schnitt noch $0,78 \pm 0,06$ Minuten (Crowelldavis 1985). Bei englischen Vollblütern dauerte die Länge eines Saugaktes in der ersten Lebenswoche der Fohlen im Durchschnitt 147 Sekunden, in der 24. Lebenswoche dagegen nur noch 74 Sekunden (Carson et al. 1983). Eine Dauer von $86,4 \pm 6,1$ Sekunden je Saugakt konnte bei belgischen Kaltblutfohlen während der ersten Lebenswoche festgestellt werden (Barber et al. 1994). Bei Komarkova et al. (2013) dauerten die erfolgreichen (>5 Sekunden an dem Euter der Mutter) Saugakte zwischen 5 und 198 Sekunden ($73,8 \pm 28,9$ Sekunden), wobei sie wesentlich kürzer waren, wenn die Stute statt dem Fohlen die Saugvorgänge beendete ($65,5 \pm 1,17$ Sekunden vs. $76,8 \pm 0,7$ Sekunden) (Komarkova et al. 2013). Bei den Beobachtungen von Smith-Funk et al (1992) dauerte eine Saugperiode in der ersten Lebenswoche $77,0 \pm 11,1$ Sekunden. Die Dauer der Saugphasen nahm mit dem Alter der Fohlen deutlich ab (Smith-Funk et al. 1992). Bei den Beobachtungen von Usagawa et al. (1998) dauerte eine Saugphase im Schnitt 69,4 Sekunden während des dritten Lebenstages, im Alter von drei Wochen 54,9 Sekunden und mit 17 Wochen noch 47,0 Sekunden (Usagawa et al. 1998). Am kürzesten ($50,9 \pm 1,7$ Sekunden) waren Saugvorgänge die von einem anderen adulten

Herdenmitglied unterbrochen wurden. Die Fohlen ranghoher Stuten tranken länger als die Fohlen rangniedriger Stuten und die Länge des Saugaktes nahm mit zunehmendem Alter der Fohlen zu (Komárková et al. 2011). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Pluháček et al. (2010) bei der Beobachtung von Zebrafohlen. Die durchschnittliche Dauer einer Saugphase betrug in deren Studie $58,3 \pm 17,2$ Sekunden. Die längste beobachtete Saugphase dauerte vier Minuten und 35 Sekunden. Auch in dieser Studie dauerten die Saugvorgänge, die durch die Fohlen beendet wurden, am längsten, die, die durch die Mutter beendet wurden, dauerten kürzer und die Saugvorgänge, die durch ein anderes Herdenmitglied beendet wurden, dauerten am kürzesten. Zusätzlich stellten die Autoren fest, dass die Saugvorgänge bei Stuten, die wieder tragend waren, kürzer dauerten als bei nichtträchtigen Stuten (Pluháček et al. 2010). In Anbetracht aller Saugversuche waren 55,5 % erfolgreich (Pluháček et al. 2010). Insgesamt tranken Fohlen während einer italienischen Studie an ihrem vierten Lebenstag insgesamt 175 Minuten in einem Beobachtungszeitraum von 24 Stunden, wobei ein Trinkvorgang durchschnittlich etwas über drei Minuten dauerte. Mit einem Alter von 47 Tagen dauerten die jeweiligen Trinkvorgänge durchschnittlich 3,5 Minuten (Tateo et al. 2013). Deutlich niedrigere Zahlen beschreiben Cameron et al. (1999). In dieser Studie verbrachten die Fohlen während ihres zweiten Lebensmonats durchschnittlich $46,1 \pm 3,6$ Minuten innerhalb des 24-Stundenverlaufs mit Saugen, wobei die durchschnittliche Dauer der jeweiligen Saugphasen $64,4 \pm 1,49$ Sekunden betrug (CAMERON et al. 1999). Die Länge eines einzelnen Saugvorganges dauerte innerhalb der ersten Lebenswoche im Schnitt 78 Sekunden. Die durchschnittliche Länge der einzelnen Saugperioden nahm innerhalb der ersten vier Monate ab, um dann bis zum neunten Lebensmonat wieder anzusteigen (Tyler 1972). Ein geschlechterspezifischer Unterschied in der Länge der Saugperioden konnte nicht beobachtet werden (Tyler 1972, Crowell-Davis et al. 1985, Smith-Funk et al. 1992, Barber et al. 1994).

5.6. Zusammenhang zwischen Saugverhalten und Menge der aufgenommenen Milch

Obwohl weibliche Fohlen in der Studie von Cameron et al. (1999) längere Zeit saugten als männliche Fohlen, konnte kein Unterschied in der Menge der aufgenommenen Milch festgestellt werden. Es konnten keine Zusammenhänge in der durchschnittlichen Anzahl der Saugvorgänge, der gesamten Zeit, die mit Saugen verbracht wurde, oder der Häufigkeit der Saugvorgänge, weder mit der Milch- noch mit der Energieaufnahme, festgestellt werden (Cameron et al. 1999).

Frühere Studien gingen davon aus, dass die Zeit, die mit Saugen verbracht wird, in direktem Zusammenhang mit der Milchaufnahme steht (Fletcher 1971, Berger 1979). Diese Annahme wurde jedoch widerlegt (Cameron 1998). Andere Autoren beschreiben, dass Saugvorgänge mit zunehmendem Alter effizienter werden und die Tiere nicht mehr so lange saugen müssen, um trotzdem die gleiche Menge an Milch zu bekommen (Pollitt et al. 1981). Des Weiteren sind Jungtiere anderer Tierarten in der Lage, den Milchfluss der Mutter durch unterschiedliches Saugen zu variieren (Brake et al. 1982). Laut Martin et al. 1992 nehmen Fohlen während der zweiten Lebenswoche 16,9 kg Milch pro Tag auf, was 246 g pro kg Körpergewicht entspricht. Pro Kilogramm Gewichtszunahme ist eine Aufnahme von 12,8 kg Milch notwendig (Martin et al. 1992).

5.7. Verhalten der Fohlen gegenüber ihren Müttern während des Saugaktes

Aggressionen der Fohlen gegenüber ihren Müttern konnten bei belgischen Kaltblutfohlen festgestellt werden (Barber et al. 1994). Das Umrunden der Mütter, um diese zum Anhalten zu bewegen, wurde von mehreren Autoren beobachtet (Tyler 1972, Rashek 1976, Barber et al. 1994, Karenina et al. 2018). Wenn die Mütter die Fohlen trotz mehrerer Versuche des Saugens nicht an ihr Euter ließen, beobachtete Tyler (1972) ein Aufstampfen der Fohlen mit den Vorderfüßen auf den Boden. Auch ein Treten nach der Mutter, wenn diese das Fohlen biss oder den Zugang zum Euter verwehrte, wurde beobachtet (Tyler 1972). Die Saugvorgänge werden in einem Großteil der Fälle von den Fohlen initiiert (Feist 1971, Tyler 1972, Crowelldavis 1985). Am häufigsten wurden die Saugphasen durch die Fohlen beendet (45,0 %), gefolgt von dem Beenden der Mutterstuten (zu 32,6 %) und zu 17,8 % von Herdenmitgliedern (Pluháček et al. 2010).

5.8. Verhalten der Mutter während des Saugaktes

Aggressionen der Mutter gegenüber ihrem Fohlen während der ersten vier Lebenswochen konnten kaum beobachtet werden. Allerdings wurde der Saugakt meist durch die Mutter beendet indem sie loslief. Vermutet wird, dass die Mutter das Fohlen mit diesem Verhalten dazu bewegt, ihr hinterher zu laufen und sich somit nicht zu weit von ihr zu entfernen. Es wurden vier Verhaltensweisen der Mütter beschrieben, um die Saugphase zu beenden: In 90 ± 2 % der Fälle lief die Mutter los; in 4 ± 2 % der Fälle schlug die Mutter mit dem Hinterbein gegen ihren Bauch; in 4 ± 1 % winkelten die Stuten ihr Hinterbein an und schoben damit das Fohlen zur Seite und in 2 ± 1 % zeigten die Mütter beim Beenden des Saugvorganges Aggressionen (Crowelldavis 1985). Duncan et al. (1984) stellten

an englischen Vollblutfohlen fest, dass die Mütter in der frühen Laktation ca. die Hälfte der Saugvorgänge aktiv beendeten, wobei Aggressionen der Mütter gegenüber ihren Fohlen kaum festgestellt werden konnten (Duncan et al. 1984). Barber et al. (1994) zählen sechs Verhaltensweisen der Mutter auf, wenn das Fohlen beginnen will am Euter zu Saugen: 1) stilles Stehen, kontralaterales Hinterbein entlastend; 2) Grasen; 3) stilles Stehen; beide Hinterbeine belastend; Kopf und Rücken auf einer Linie; 4) Verhindern, dass das Fohlen an das Euter kommt, indem die Stute das ipsilaterale Bein anwinkelt, um dem Fohlen das Euter zu verwehren; 5) Weglaufen, um das Saugen des Fohlens zu verhindern; 6) Aggressionen gegenüber den Fohlen (Barber et al. 1994). In nur 1,0 % der Saugversuche verwehrten die Mütter den Fohlen das Trinken (Komarkova et al. 2013). Tyler (1972) beschreibt aggressives Verhalten der Mütter gegenüber den Fohlen auch schon bei jungen Fohlen, wobei dieses Verhalten der Mütter oft auf zu grobem Saugen der Fohlen beruhte. Die Mütter versuchten innerhalb der ersten Lebenswoche bis zu 46 % der Saugvorgänge aktiv zu beenden, wohingegen in den meisten Fällen die Fohlen die Saugvorgänge daraufhin wiederaufnahmen und dann selbst beendeten. Es wurde auch beobachtet, dass die Mutterstuten sich mit zunehmendem Alter der Fohlen weniger gegen die Trinkversuche wehrten. Andererseits wurde aber auch ein aktives Auffordern der Fohlen durch die Mutter beobachtet, um die Fohlen zum Saugen zu animieren (Tyler 1972). Im Gegensatz dazu gaben Heitor et al. (2008) an, dass die Stuten nur $5,0 \pm 3,8$ % der Saugphasen beendeten, wobei ranghohe Stuten mehr Saugvorgänge aktiv beendeten als rangniedere Stuten (Heitor et al. 2008). Carson et al. (1983) beschreiben, dass die Mutterstuten ihren Fohlen während deren ersten Lebenswoche dabei helfen das Euter zu finden. Ein Verhindern der Saugaktivität der Mutterstuten war vor allem während der zweiten und dritten Woche zu beobachten (Carson et al. 1983). Bei Zebras wurden bis zu 80 % der Saugversuche durch die Mutterstuten abgewehrt (Pluháček et al. 2010). Ranghohe Stuten beenden oder unterbrechen die Saugvorgänge bei rangniederen Stuten durch Beißen und Treten (Tyler 1972, Rutberg et al. 1990, Pluháček et al. 2010), wobei trächtige Stuten das Saugen bei anderen Stuten mehr als doppelt so oft unterbrechen wie nicht tragende Stuten (Komárková et al. 2011). Wenn Saugvorgänge durch andere Herdenmitglieder unterbrochen wurden, richteten sich die Unterbrechungen von adulten Pferden gegen die Mutterstuten, während sich Unterbrechungen, die von anderen Fohlen ausgingen, gegen die saugenden Fohlen richteten (Pluháček et al. 2010). An Tag eins wurden $12,9 \pm 5,7$ der Saugphasen von den Mutterstuten beendet, innerhalb der ersten Lebenswoche waren es $18,2 \pm 4,6$ %. In der elften Lebenswoche der

Fohlen wurden noch $2,9 \pm 2,9$ % der Saugvorgänge durch die Mütter beendet (Smith-Funk et al. 1992).

5.9. Trinkverhalten von verwaisten Fohlen

Fohlen, die ohne Mutterstute aufwuchsen, verbrachten in einer Studie von Tateo et al. (2013) innerhalb der ersten Lebenswoche signifikant weniger Zeit mit Saugen als Fohlen, die mit ihren Müttern aufwuchsen. Innerhalb von 24 Stunden verbrachten sie insgesamt 44,3 Minuten mit Saugen, wobei die einzelnen Saugphasen im Schnitt 1,4 Minuten dauerten. Innerhalb von 24 Stunden tranken die Fohlen 31,7 Mal. Am 10. Lebenstag der Fohlen dauerten die Trinkvorgänge bei den artifiziell gesäugten Fohlen länger als bei den Fohlen, die bei ihren Müttern aufwuchsen. Auch die Häufigkeit des Trinkens war größer. Nach 47 Tagen wurden keine Unterschiede im Trinkverhalten zwischen den beiden Fohlengruppen mehr festgestellt (Tateo et al. 2009, Tateo et al. 2013). Naylor et al. (1987) empfehlen, verwaiste Fohlen während ihres ersten Lebenstages alle 1,5 Stunden zu füttern und die Fütterungsintervalle auf insgesamt fünf Stück am Tag 15 zu reduzieren (Naylor et al. 1985). Ousey (2003) stellte gute Wachstumsraten fest, wenn die Fohlen während der ersten beiden Lebenstage stündlich gefüttert wurden, die darauffolgenden zwei Wochen alle zwei bis drei Stunden und die Fütterungsfrequenz so verringert wurde, dass die Fohlen in ihrer achten Lebenswoche noch viermal gefüttert wurden (Ousey 2003).

III. TIERE, MATERIAL UND METHODEN

In der vorliegenden Dissertation wurden zehn gesunde Fohlen innerhalb der ersten Lebenswoche über je 48 Stunden polysomnographisch gemessen und währenddessen mit mehreren Kameras gefilmt.

1. Untersuchungen

1.1. Auswahl der Fohlen

Die Rekrutierung der Fohlen erfolgte meist über persönliche Kontakte, zum Teil auch über Internetaufrufe und Rundmails an Züchterverbände. Das Informationsblatt für die Pferdebesitzer ist als Anhang I am Ende der Dissertation eingefügt. Um an der Studie teilnehmen zu können, mussten die Fohlen gesund sein, was durch eine allgemeine und neurologische Untersuchung vor Anbringung der Messapparatur festgestellt wurde. Die vorangegangene Trächtigkeitsdauer durfte ein Minimum von 320 Tagen und ein Maximum von 360 Tagen nicht unter- bzw. überschreiten. Die Messungen mussten innerhalb der ersten Lebenswoche stattfinden. Insgesamt wurden im Zeitraum von März bis Juni 2019, wie in Tabelle 6 aufgeführt, vier Stutfohlen und sechs Hengstfohlen verschiedener Rassen jeweils über einen Zeitraum von 48 Stunden polysomnographisch gemessen.

Tabelle 6: Übersichtstabelle der an der Studie teilgenommenen Fohlen (n = 10): Aufgelistet sind Nummer der Fohlen, Geschlecht, Rasse, Geburtsdatum, Messbeginn und Messende

Fohlen Nr.	Name	Geschlecht	Rasse	Geburtsdatum	Messbeginn	Messende
1	Be Invitings Vivian	Stute	Quarter Horse	30.03.2018	31.03.2018	02.04.2018
2	Glide Chip	Hengst	Englisches Vollblut	03.04.2018	06.04.2018	08.04.2018
3	Feu Susa	Stute	Warmblut	10.04.2018	15.04.2018	17.04.2018
4	Mael	Hengst	Warmblut	26.04.2018	29.04.2018	01.05.2018
5	Finest Little Romeo	Hengst	Pony	29.04.2018	04.05.2018	06.05.2018
6	Kalinka	Stute	Trakehner	14.05.2018	20.05.2018	22.05.2018
7	Cidre Cup	Hengst	Warmblut	27.05.2018	01.06.2018	03.06.2018
8	Don Perignon	Hengst	Warmblut	04.06.2018	09.06.2018	11.06.2018
9	Bruno	Hengst	Warmblut	15.06.2018	17.06.2018	19.06.2018
10	Lilli	Stute	Warmblut	05.07.2018	07.07.2018	09.07.2018

1.2. Haltungsbedingungen

Die Messungen der Fohlen wurden in deren heimatlichen Stallungen durchgeführt. Voraussetzung war, dass die Fohlen die Nächte in einer Box mit ihrer Mutter verbrachten. Die Boxengröße lag bei allen gemessenen Fohlen über der vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2009 in den Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten angegebenen Mindestmaßen für Stuten mit Fohlen von $\geq (2,3 \times \text{Wideristhöhe})^2$ (BMELV 2009). Entscheidend war, dass die gesamte Box mittels z.T. mehrerer Videokameras erfasst werden konnte, um das Fohlen über die gesamte Messung beobachten zu können. Tagsüber war es den Besitzern freigestellt, wie lange die Fohlen auf der Koppel verbrachten, um den normalen Tagesablauf und somit das physiologische Verhalten der Fohlen nicht zu beeinträchtigen.

1.3. Messdauer

Sowohl die polysomnographischen Messungen, als auch die zusätzlichen Videoaufzeichnungen erfolgten bei jedem Fohlen über 48 Stunden. Kurze Unterbrechungen der Messungen fanden bei Manipulationen an den Fohlen, wie z.B. Akkuwechsel oder Ankleben der Elektroden, beim Koppelgang, wenn dieser weniger als eine Stunde dauerte, oder beim Umbauen der Gerätschaften, wenn der Koppelgang des Fohlens länger als eine Stunde betrug, statt. Alle Fohlen wurden am jeweiligen ersten Tag zwischen spätem Nachmittag und Abend an den Polysomnographen angeschlossen. Da alle Fohlen über 48 Stunden gemessen wurden, war eine genaue Anbringungszeit nicht nötig.

2. Verwendete Geräte

2.1. Polysomnograph

Bei dem zur Messung verwendeten Polysomnographen handelte es sich um den tragbaren SOMNOscreenTMplus© der Firma SOMNOmedics GmbH (D-97236 Randersacker) (s. Abbildung 3). Inklusive Akku beträgt das Gewicht des Gerätes 220 g bei einer Abmessung von 140 x 70 x 22 mm. Das Gerät besitzt acht Anschlüsse für externe Sensoren, wie z.B. ein Mikrophon für Schnarchgeräusche oder einen Temperatur- oder Drucksensor. Bei der Messung der Fohlen wurde keiner dieser zusätzlichen Sensoren benutzt. Über eine Headbox mit 15 Kanälen können zehn EEG/EOG-Referenziell, ein EEG-Referenzkanal, zwei EMG-Referenziell, ein EKG-Differenziell und ein Impedanzkanal abgeleitet werden. Die Headbox selbst wird in ihren Anschluss am Polysomnographen eingesteckt. In die Headbox werden die einzelnen Elektrodenkabel untergebracht. Bei der hier vorliegenden Dissertation konnte die Headbox mittels einer Sonderanfertigung umgangen werden Näheres dazu im folgenden Kapitel 2.2..

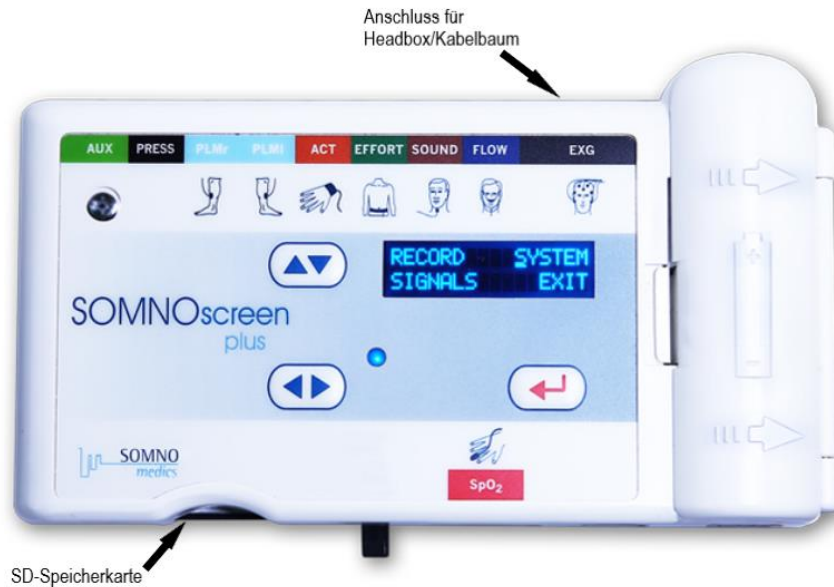


Abbildung 3: Polysomnograph SOMNOscreen™ der Firma SOMNOmedics; markiert sind die SD-Speicherkarte und der Anschluss für die Headbox, bzw. für den Kabelbaum.

Die Datenspeicherung erfolgte gleichzeitig auf zwei verschiedenen Speichermedien. Zum einen mittels einer 2-GB-High-Speed-Compact-Flash-Karte im Polysomnographen selbst, zum anderen auf der Festplatte eines Notebooks der Firma DELL®. Die Datenübertragung auf das Notebook erfolgte mit einer 16-Bit-Auflösung über ein am Somnoscreen angebrachtes Funkmodul (Reichweite bis zu 100 m). Das Notebook war während der gesamten Messung mit dem Stromnetz verbunden. Die synchron laufende Infrarotkamera war über ein Netzkabel an das Notebook angeschlossen.

Der Polysomnograph befand sich in einer Schutzhülle und wurde mit einem Gurt am distalen Teil des Halses des jeweiligen Fohlens befestigt (s. Abbildung 4).

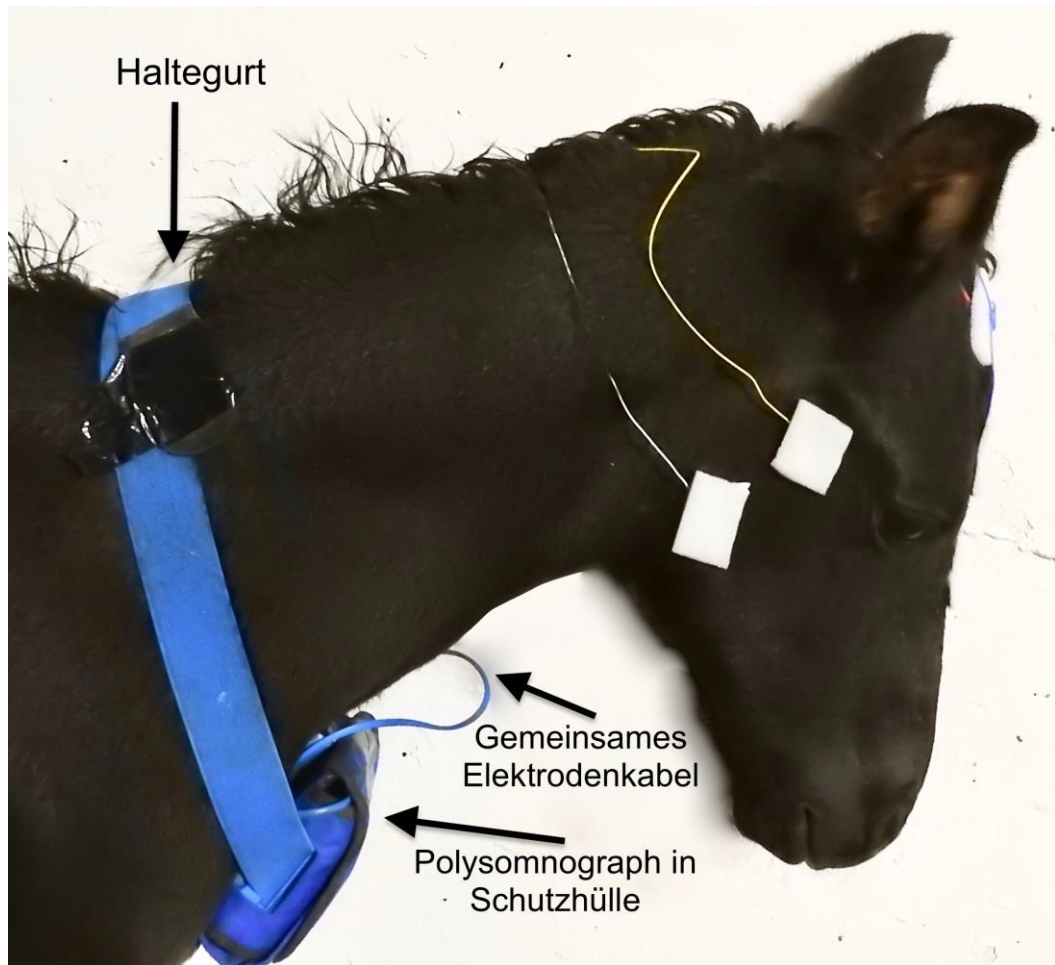


Abbildung 4: Befestigung des Polysomnographen in einer Schutzhülle am distalen Teil des Fohlenhalses mittels eines Gurtes

2.2. Elektroden und Elektrokabel

Durch eine von der Firma SOMNOmedics® speziell angefertigte Konstruktion konnte die Headbox umgangen werden und die Elektroden mussten nicht einzeln in das Gerät eingesteckt werden, sondern besaßen einen gemeinsamen Kabelbaum. Insgesamt waren zehn goldbeschichtete Napfelektroden mit einem Durchmesser von circa einem Zentimeter und einer kleinen mittigen Öffnung über jeweils 1 m lange, verschieden farbige Kabel miteinander verbunden. Der Kabelbaum selbst konnte als Stecker in den für die Headbox vorgesehenen Anschluss im Polysomnographen eingesteckt werden.

2.3. Zusätzliche Kameras und Videorekorder

Da die ständige Sichtkontrolle der Fohlen mittels der zum System gehörenden Kamera allein nicht gewährleistet werden konnte, mussten, je nach Box und Gegebenheiten, weitere ein bis vier Kameras aufgebaut werden. Bei dem System handelte es sich um einen 4-Kanal Digitalrekorder mit einer 1-TB-Festplatte und

vier Außenfarbkameras der Firma Flamingo®. Die Infrarotkameras wurden durch Kabel mit dem Rekorder verbunden, welcher wiederum an einen 19 Zoll Bildschirm (BenQ® Monitor) angeschlossen war. Manuell kann man den Aufnahmemodus starten und stoppen, wobei die jeweiligen Kameras auch getrennt voneinander benutzt werden können. Die Kameras wurden mittels Klebeband und Kabelbindern an geeigneten Stellen in und um die Box fixiert. Gesteuert wurde das System über eine angeschlossene USB-Maus. Nach den Aufzeichnungen wurden die Dateien auf einen USB-Stick gezogen und durch diesen auf den Auswertungs-PC geladen.

3. Durchführung der Messungen

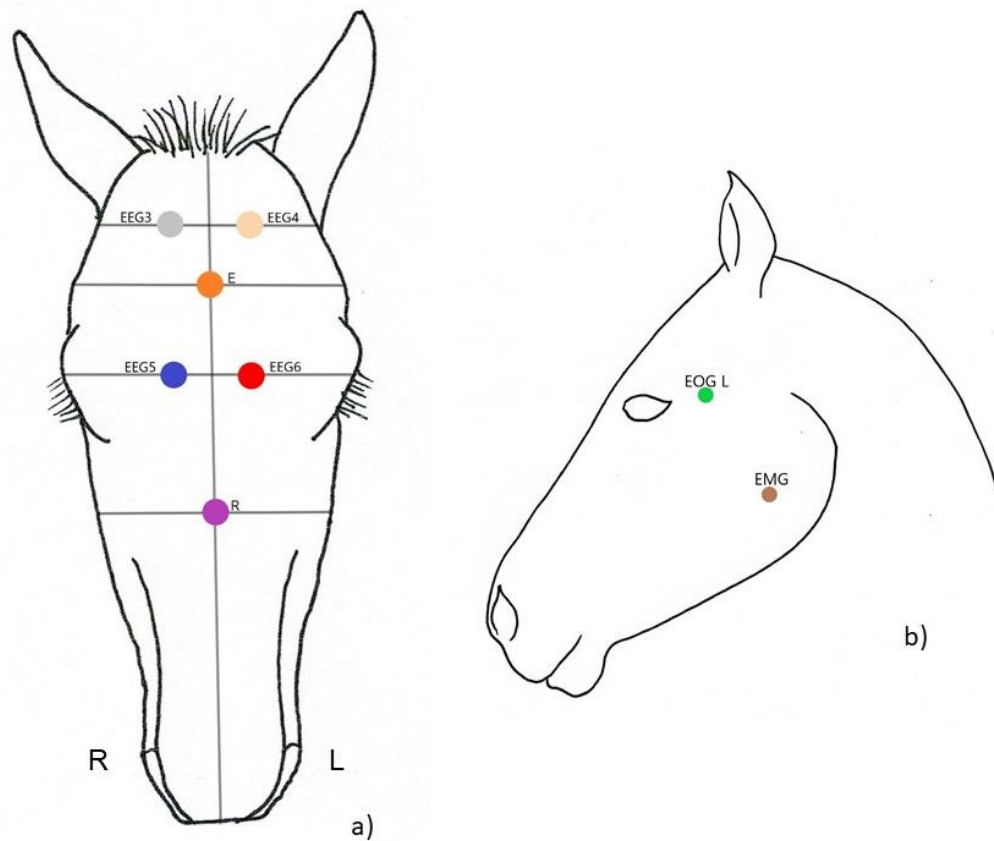
3.1. Vorbereitung der Fohlen

Bevor eine Messung gestartet wurde, erfolgte eine genaue Anamnese über den Trächtigkeits- und Geburtsverlauf der Stute. Wenn diese keine Auffälligkeiten aufwies und das Fohlen ein physiologisches, dem Alter entsprechendes Verhalten zeigte, wurde eine Allgemeinuntersuchung des Fohlens durchgeführt. Wenn das Fohlen einen guten Gesundheitsstatus aufweisen konnte, wurde mit den Vorbereitungen der Messung begonnen.

Vor dem Aufkleben der Elektroden mussten den Fohlen zehn Stellen am Kopf rasiert werden. Dies erfolgte mit der AESCULAP® Akku-Haarschneider Schermaschine ISIS. Die geschorenen Hautstellen wurden mit 70 %igem Alkohol entfettet, um eine bessere Klebekraft und Leitfähigkeit der Elektroden zu gewährleisten. Während aller Manipulationen der Fohlen wurden diese von fachkundigen Personen fixiert, wobei ein Arm um die Brust des Fohlens gelegt wurde, der andere um das Hinterteil des Fohlens.

3.2. Anbringung der Elektroden

Die Anbringung erfolgte modifiziert nach dem gleichen Schema wie es in vorangegangenen Arbeiten angewandt wurde (Güntner 2010, Kalus 2014, Fuchs 2017) (s. Abbildung 5). Die Napfelektroden wurden mit EC2® Genuine Grass Electrode Cream, einer speziellen Klebeleitpaste für Napfelektroden, befüllt und ihr Rand und Stiel wurden mit UHU®-Alleskleber super bestrichen. Diese Kombination ermöglichte eine sichere Anbringung der Elektroden am Fohlenkopf. Durch den Sekundenkleber mussten die Elektroden nur kurzzeitig aufgedrückt werden und die Elektrodencreme konnte danach, ohne weitere zusätzliche Fixation der Elektroden, aushärten (s. Abbildung 6).



Ableitung	Lokalisation
E	Auf der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des aboralen Randes des Jochbeins
R	Auf der Mittellinie des Os nasale, in Höhe der Mitte der Crista facialis
EEG 3	1,5 cm rechts der Mittellinie des Os frontale, in Höhe der Ohrbasis
EEG 4	1,5 cm links der Mittellinie des Os frontale, in Höhe der Ohrbasis
EEG 5	1,5 cm rechts der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des lateralen Augenwinkels
EEG 6	1,5 cm links der Mittellinie des Os frontale, in Höhe des lateralen Augenwinkels
EMG	Links und rechts dem M. mentalis 1,5-2 cm oral des ersten Backenzahns (P2)
EOG L	1,5 cm lateral des linken temporalen Augenwinkels
EOGR	1,5 cm lateral des rechten temporalen Augenwinkels

c)

Abbildung 5: Anbringung der Elektroden modifiziert nach Günter (2014): a) frontale Ansicht mit den vier Elektroden der EEGs (EEG 3-EEG 6) und den zwei Referenzelektroden (E & R); b) Ansicht der linken Kopfseite mit EOG L und EMG; c) Bezeichnung und genaue Lokalisationsbeschreibung der einzelnen Elektroden

Zur zusätzlichen Fixation und zum Schutz der Elektroden wurden diese mit snogg® Animal Polster, einem selbstklebenden Schaumstoff, abgedeckt (s. Abbildung 6).

Die Elektrodenkabel wurden über dem Genick des Fohlens gebündelt und mittels Klebeband an der Mähne des Fohlens befestigt. Letztlich wurde der Kabelbaum in den dafür vorgesehenen Stecker am Polysomnographen gesteckt.

Um die Fohlen vor einem Hängenbleiben mit den Elektrodenkabeln zu schützen, wurde ihnen ein „Sleezy“[®], eine Art Kopfhaube aus Stoff, übergezogen (s. Abbildung 6). Dabei handelt es sich um einen elastischen Brust- und Halsschutz aus atmungsaktivem Material. Durch einen durchgängigen Reißverschluss an der ventralen Seite war ein einfaches Überstreifen möglich. Durch einen zusätzlichen elastischen Gurt wurde der Sleezy[®] hinter der Fohlenschulter fixiert.

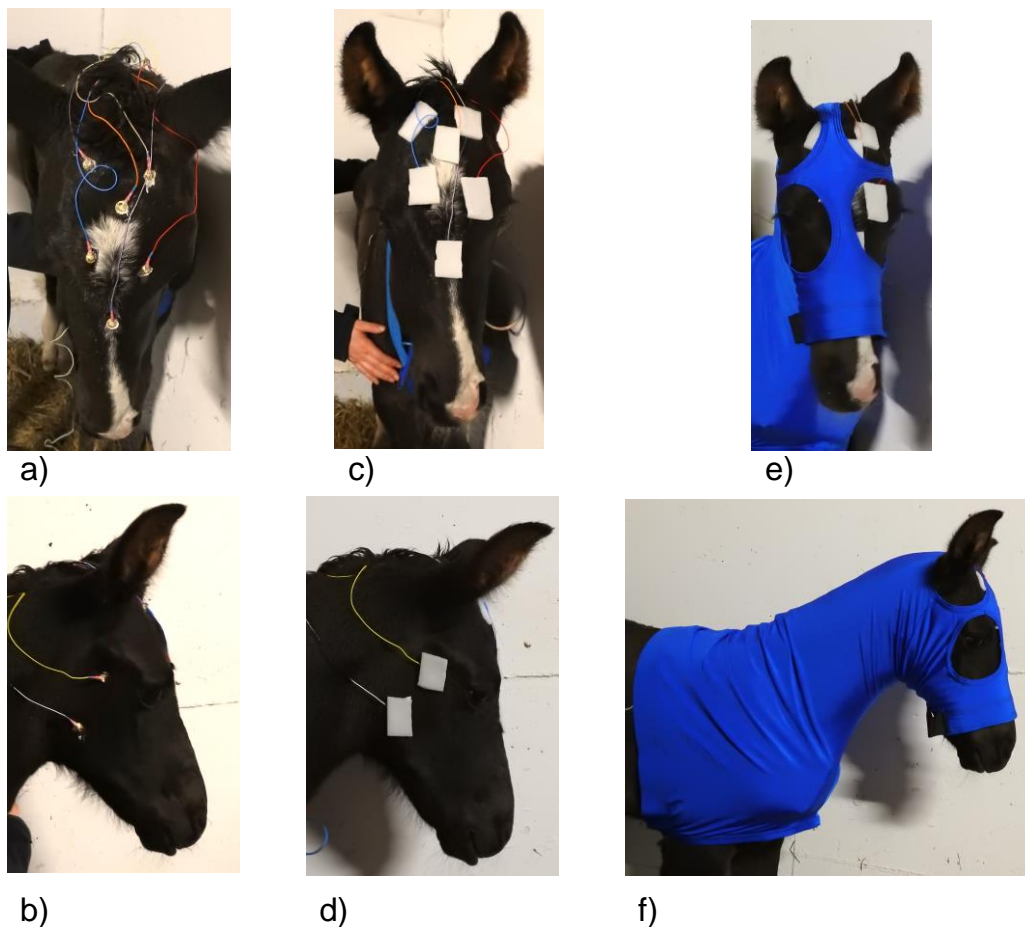


Abbildung 6: Schrittweise Anbringung der Elektroden, des Animal Polsters und des Sleezys: (a, c, e: jeweils die frontale Ansicht; b, d, f: jeweils die seitliche Ansicht) a) & b): aufgeklebte Elektroden; c) & d): Abdeckung der Elektroden mit Animal Polster; e) & f): Fohlen mit Sleezy[®] zum zusätzlichen Schutz der Elektroden und Elektrodenkabel

3.3. Starten der Messung

Nachdem der Polysomnograph am Fohlen gestartet wurde, konnte die korrekte

Signalübertragung und der Sitz der Elektroden am Computer überprüft werden. Dies erfolgte zum einen unter Sichtkontrolle der EEG-, EOG-, und EMG-Wellen, zum anderen über Impedanzkontrollen des Systems.

Die Fohlen konnten sich während der gesamten Messdauer ungestört zusammen mit ihren Müttern frei in ihrem Umfeld bewegen.

3.4. Beenden der Messung

Nach einer Dauer von 48 Stunden wurden die Messungen beendet. Die Elektroden wurden abgezogen und auf die rasierten Hautstellen wurde eine pflegende Bepanthen® Hautcreme aufgetragen. Reste der Elektrodencreme wurden auf der Haut belassen, um eine Reizung durch Reiben oder Ziehen zu vermeiden.

4. Auswertung

4.1. Analysesoftware

Zur automatischen Auswertung der Polysomnographiedaten wurde die Analyse- und Auswertungssoftware DOMINO® Version 2.9.0 (11.07.2018) verwendet. Die Software kann eine automatische Analyse nach AASM oder R&K innerhalb weniger Minuten durchführen. Die Software ordnet jedem 30-Sekunden-Intervall ein Schlafstadium zu und bildet die gesamte Messdauer letztendlich in einem Schlafprofil ab. Die zugeordneten Schlafstadien erscheinen in verschiedenen Farben, je nachdem wie eindeutig das Schlafstadium auf die vorhandenen EEG-, EOG- und EMG-Wellen passt. Eine Zusammenfassung der Daten kann in tabellarischer und graphischer Form auf einem DIN-A4-Blatt am Ende der Auswertung ausgedruckt oder abgespeichert werden.

4.2. Manuelles Auswerten der Daten

Ein manuelles Editieren der Daten ist unabdingbar, da die automatische Analysesoftware DOMINO® auf die Auswertung humaner Schlafprofile ausgelegt ist. Im Editiermodus der Analysesoftware ist ein manuelles Zuordnen der Schlafstadien zu jeder Epoche (30-Sekunden-Intervall) möglich. Die Zuordnung der Schlafstadien und Körperlagen erfolgte über ein Auslesen der EEG-, EOG -, und EMG-Wellen in Synchronisation mit dem Video. Das Markieren besonderer Ereignisse, wie z.B. Trinken oder Wälzen, war mittels eines Markers möglich.

4.2.1. Schlafstadien

Die Schlafstadien wurden entsprechend der vorangegangenen Dissertationen von Kalus (2014) und Fuchs (2017) ausgewertet. So ergaben sich vier mögliche

Stadien: Wachzustand (W), Leichtschlaf (LS), Tiefschlaf (TS) und REM-Schlaf (REM). Wenn in einer Epoche mehrere Schlafstadien vorkamen, wurde das Schlafstadium gewählt, das über 50 % der Zeit vorherrschte.

4.2.2. Körperlagen

Anhand der Videoaufzeichnungen konnten nahezu allen Epochen auch Körperlagen zugeordnet werden. Hierbei wurde zwischen Stehend (S), Trinkend (T), Brustlage (BL) und Seitenlage (SL) unterschieden.

4.2.3. Zeiteinteilung

24 Stunden wurden in acht Zeitabschnitte zu jeweils drei Stunden unterteilt (s. Tab. 7). Zusätzlich erfolgte eine gröbere Einteilung in Tag (06.00 Uhr bis 21.00 Uhr) und Nacht (21.00 Uhr bis 06.00 Uhr).

Tabelle 7: Unterteilung des 24-Stunden-Tages in insgesamt acht Zeitabschnitte zu jeweils drei Stunden und Zuordnung der Zeitabschnitte zu Tag und Nacht

Zeitabschnitt	Uhrzeit	Tag/Nacht
1	00.00-03.00	Nacht
2	03.00-06.00	Nacht
3	06.00-09.00	Tag
4	09.00-12.00	Tag
5	12.00-15.00	Tag
6	15.00-18.00	Tag
7	18.00-21.00	Tag
8	21.00-24.00	Nacht

4.3. Statistische Methoden

Die statistische Auswertung wurde mit der Statistiksoftware SPSS in den Versionen 25.0 und 26.0 (IBM Corp.) durchgeführt. Für nominale Daten wie Körperlagen und Schlafstadien wurden für jedes individuelle Tier und jeweils für bestimmte Zeitabschnitte die relative Häufigkeit in Prozent ihres Auftretens berechnet und diese Werte dann über alle Tiere statistisch entsprechend metrischer Daten analysiert. Für die grafische Darstellung von relativen Häufigkeiten wurde gestapelte Balkendiagramme gewählt. Für metrische Daten

wurden als Kennwerte der Verteilung das arithmetische Mittel \pm Standardabweichung, der Median, das Minimum und das Maximum berechnet. Für die weitere Auswertung wurde der Shapiro-Wilk-Test zur Differenzierung von normalverteilten und nicht normalverteilten Daten durchgeführt. Die grafische Darstellung normalverteilter Daten erfolgte mit Balkendiagrammen, während für nicht normalverteilte Variablen der Box- und Whisker-Plot eingesetzt wurde. Zur Quantifizierung von Zusammenhängen zwischen normalverteilten metrischen Variablen wurde der Korrelationskoeffizient r nach Pearson berechnet. Wenn eine der beiden metrischen Variablen nicht normalverteilt war, kam der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman zur Anwendung. Mittelwertunterschiede zwischen zwei metrischen normalverteilten Variablen wurden mit dem t-Test und bei abhängigen Stichproben dem Paarvergleichstest (=t-Test für abhängige Variablen) auf Überzufälligkeit getestet. In Fällen mit mehr als zwei Ausprägungen bei der gruppierenden Variablen kam die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit post hoc Tests nach Bonferroni zum Einsatz. Unterschiede in der zentralen Tendenz bei nichtnormalverteilten Daten wurden bei zwei Ausprägungen der gruppierenden Variablen mit dem Mann-Whitney-U-Test und im Falle einer Abhängigkeit der Variablen dem Wilcoxon-Test auf statistische Signifikanz überprüft. Ab drei Ausprägungen der gruppierenden Variablen wurden die Irrtumswahrscheinlichkeiten mit dem Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben und dem Friedman-Test für abhängige Stichproben jeweils mit post hoc Test nach Bonferroni berechnet. Ergänzend zu den genannten unifaktoriellen statistischen Tests wurden multifaktorielle Analysen unter Einsatz des verallgemeinerten linearen Modells (GLM) durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ gewählt.

5. Ethisches Statement

Durch die nichtinvasiven polysomnographischen Messungen der Fohlen wurden die Tiere zu keinem Zeitpunkt in ihrem natürlichen Verhalten eingeschränkt. Auch während des Anbringens der Elektroden wurden den Fohlen keine Schmerzen, Schäden oder Leiden zugefügt. Die vorgenommenen Untersuchungen stellen keinen Tierversuch im Sinne des Deutschen Tierschutzgesetzes in der Fassung vom 18.05.2006 dar (Tierschutzgesetz in der Fassung vom 18.Mai 2006). Im Vorfeld der Messungen wurde ein Antrag zur Genehmigung der Studie bei der Ethikkommission der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München eingereicht, welcher ohne Einschränkungen unter der Nummer 106-15-01-2018 genehmigt wurde.

IV. ERGEBNISSE

1. Schlafverhalten

Die manuelle Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgte mittels des Computerprogramms DOMINO®. In den vorliegenden Ergebnissen werden die Vigilanzstadien unterteilt in Wach (W), Leichtschlaf (LS), Tiefschlaf (TS) und REM-Schlaf (REM). Sowohl die Charakteristik der vier Stadien, als auch die quantitativen Messergebnisse werden im Folgenden genauer beschrieben. Weiterhin sind mehrere Abbildungen der polysomnographischen Messungen dargestellt. Auf diesen sind die Augenbewegungen des linken und rechten Auges als EOG L und EOG R (Zeile eins und zwei der y-Achse), die Ableitungen der Hirnströme in EEG 3, EEG 4, EEG 5 und EEG 6 (Zeile drei bis sechs der y-Achse) und die Muskelbewegungen im EMG (Zeile sieben) dargestellt. Auf einigen Abbildungen befinden sich noch zusätzlich die Ableitungen der Elektroden gegeneinander in den Zeilen acht und neun der y-Achse. In der rechten unteren Ecke der Abbildungen ist das Bild der Videoaufzeichnung während des gemessenen Zeitabschnittes abgebildet. In den Zeilen der EEG-Ableitungen sind die 70 µV-Grenzen als Hilfslinien eingezeichnet (s. Abb. 7-14).

1.1. Qualitative Bestimmung der Schlafstadien

Im Folgenden werden bei den jeweiligen Vigilanzstadien das Elektroenzephalogramm (EEG), das Elektrookulogramm (EOG) und das Elektromyogramm (EMG) beschrieben. Die Auswertung der Daten erfolgte manuell, da es noch keine auf das Pferd programmierte Analysesoftware gibt. Grundsätzlich ist das EEG-Bild der Fohlen durch das Vorherrschen einer Grundtätigkeit im δ -Bereich über alle Schlafstadien hinweg gekennzeichnet.

1.1.1. Wachzustand

Im Wachzustand zeigte sich im EEG ein sehr breites Frequenzspektrum mit meist gemischten Frequenzen und unterschiedlich hohen Amplituden. Ein Großteil der Wachsequenzen war durch Kau-, Muskel- und Bewegungsartefakte überlagert. Das EMG wies im Vergleich zu den anderen Vigilanzstadien die höchste Spannung auf. Kaubewegungen waren durch sehr hohe Ausschläge und Frequenzen im EMG erkennbar. Je nach Aufmerksamkeitsstadium der Fohlen waren im EOG sowohl schnelle (REMs) als auch langsamere (SEMs) Augenbewegungen erkennbar. Bei sehr starken Bewegungen (Kopfschütteln, Herumspringen, Wälzen) waren keine EEG-, EOG- oder EMG Wellen erkennbar.

(s. Abb. 7). Messwerte sind für den Wachzustand bei Fohlen nicht anzugeben, da es keine aussagekräftigen, artefaktfreien Aufzeichnungen des Wachzustandes gab.

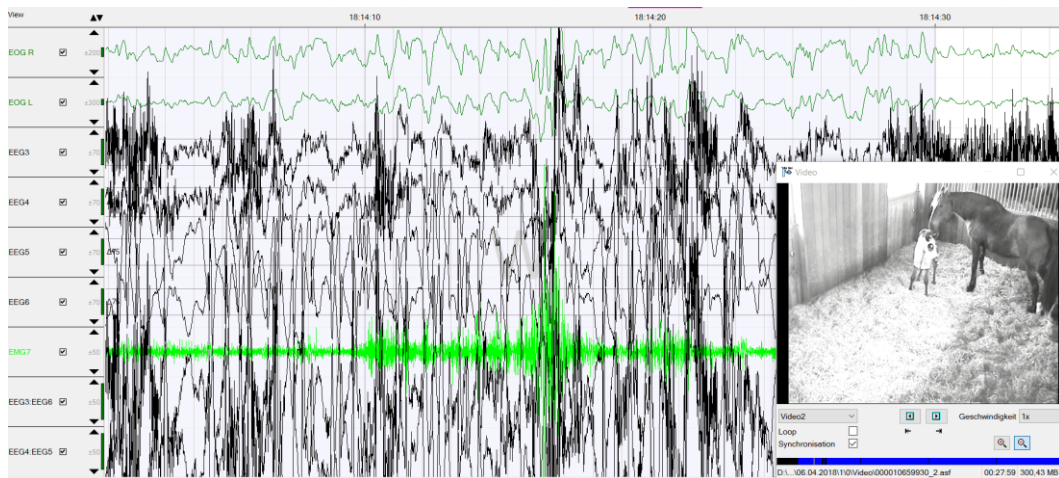


Abbildung 7: Polysomnographische Aufzeichnungen des Wachzustandes eines Fohlens (Fohlen Nr. 2) im Stehen. Zu sehen sind die Augenbewegungen im EOG, die Ableitungen der vier EEGs, das EMG und die Ableitungen der EEGs zueinander (y-Achse von oben nach unten: EOG R und EOG L; EEG 3-EEG 6; EMG; EEG 3:EEG 6; EEG 4:EEG 5): Die EEGs sind von Artefakten überlagert, das EMG ist hochgespannt und in den EOGs sind viele Augenbewegungen erkennbar.

1.1.2. Leichtschlaf

Das EEG des Leichtschlafs zeigte grundsätzlich ein sehr gleichmäßiges Erscheinungsbild mit EEG-Wellen, die größtenteils innerhalb eines Referenzbereiches von $75 \mu\text{V}$ lagen (s. Abb. 8). Die maximalen Ausschläge aller Elektroden lagen im Durchschnitt bei $87,4 \pm 24,7 \mu\text{V}$ (Min. $35 \mu\text{V}$; Max. $188 \mu\text{V}$), wobei die Ausschläge der okzipitalen Elektroden deutlich höher waren als die der frontalen Elektroden. So lagen die durchschnittlichen maximalen Ausschläge von EEG 3 bei $97,8 \pm 26,6 \mu\text{V}$ (Min. $52 \mu\text{V}$; Max. $164 \mu\text{V}$) und von EEG 4 bei $96,5 \pm 24,3 \mu\text{V}$ (Min. $59 \mu\text{V}$; Max. $188 \mu\text{V}$). Die durchschnittlichen maximalen Ausschläge der frontalen Elektroden lagen dagegen bei EEG 5 bei $75,3 \pm 19,3 \mu\text{V}$ (Min. $35 \mu\text{V}$; Max. $125 \mu\text{V}$) und bei EEG 6 bei $81,4 \pm 20,8 \mu\text{V}$ (Min. $42 \mu\text{V}$; Max. $131 \mu\text{V}$). Der durchschnittliche prozentuale Anteil der δ -Wellen von $n=10$ Fohlen lag bei $36,0 \%$ im Leichtschlaf, wobei sich insgesamt $22,3 \%$ der Wellen im Slow-Wave-Bereich befanden. Durchschnittlich $26,8 \%$ der Wellen lagen im θ -Frequenzbereich, $26,5 \%$ im β -Bereich und $10,8 \%$ im α -Bereich.



Abbildung 8: Polysomnographische Aufzeichnungen des Leichtschlafs eines Fohlens (Fohlen Nr. 4) in Seitenlage: Die Ausschläge der EEGs befinden sich größtenteils innerhalb der 70 μ V-Grenzen (in der Abbildung bei allen EEGs eingezeichnet). Das EMG ist sehr niedrigespannt und im EOG sind regelmäßige, gleichläufige Augenbewegungen zu erkennen.

Im EOG zeigten sich größtenteils langsame rollende Augenbewegungen. Zum Teil waren auch größere Ausschläge der EOGs zu erkennen, wobei diese im Vergleich zum REM-Schlaf meist in die gleiche Richtung gingen. Eine Übertragung der Augenbewegungen auf EEG 5 und EEG 6 war häufig darstellbar (s. Abb. 9a).

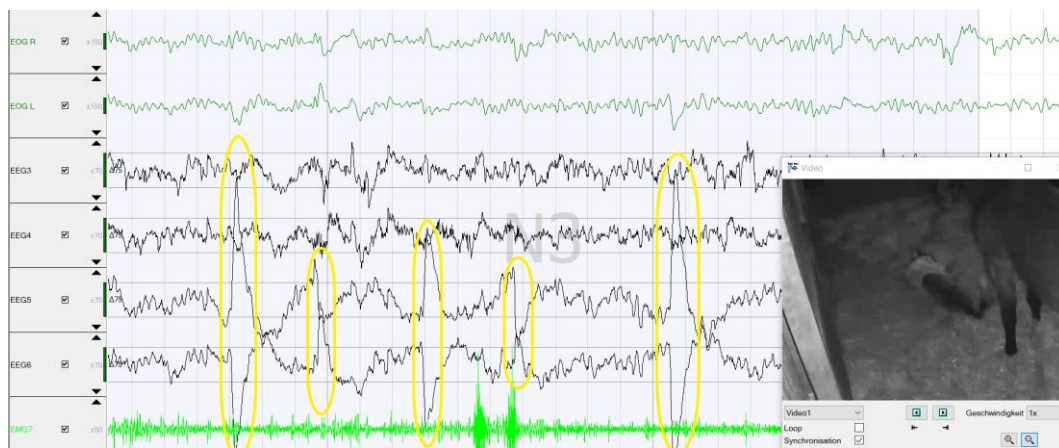


Abbildung 9a: Leichtschlaf des Fohlens Nr. 4 mit deutlichen Ausschlägen des EEG 5 und des EEG 6, welche durch Augenbewegungen ausgelöst werden (übertragene Augenbewegungen sind gelb umrandet)

Graphoelemente wie Spindeln und K-Komplexe waren bei jedem Fohlen auffindbar (s. Abb. 9b).

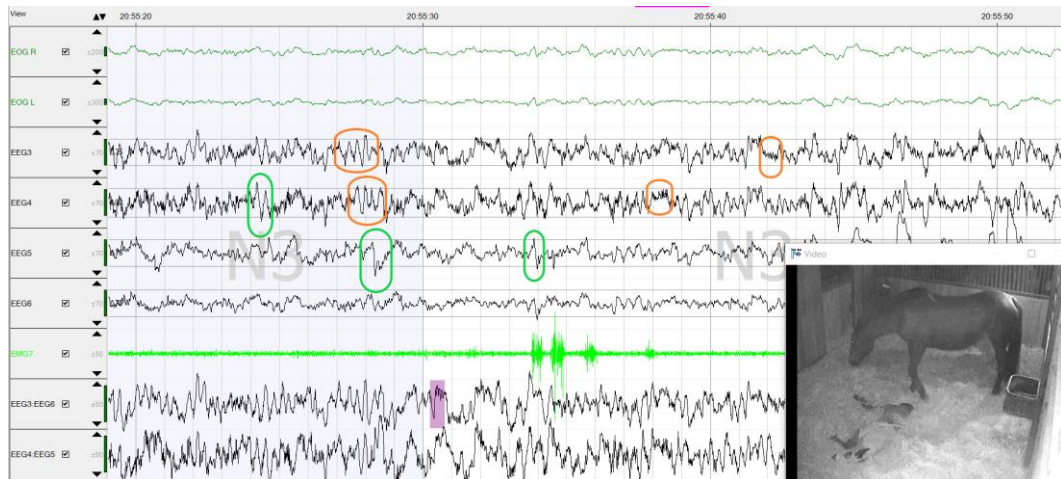


Abbildung 9b: Polysomnographische Aufzeichnungen des Leichtschlafs eines Fohlens (Fohlen Nr. 2) in Seitenlage. Grün umrandet sind K-Komplexe, orange umrandet Schlafspindeln.

1.1.3. Tiefschlaf

Im EEG des Tiefschlafs der Fohlen zeigte sich ein sehr hoch-amplitudiges, nieder-frequentes Erscheinungsbild. Die durchschnittliche maximale Amplitudenhöhe aller Elektroden lag bei $281,6 \pm 96,8 \mu\text{V}$ (Min. $126 \mu\text{V}$; Max. $586 \mu\text{V}$). Der durchschnittliche Anteil an δ -Wellen über alle Elektroden lag bei 53,3 %, der der β -Wellen bei 14,9 % und der Anteil an α -Wellen lag bei 14,9 %. Insgesamt konnten 36,0 % der Wellen im Slow-Wave-Bereich gemessen werden. Die mittleren maximalen Ausschläge lagen bei EEG 3 bei $303,7 \pm 115,5 \mu\text{V}$ (Min. $132 \mu\text{V}$; Max. $586 \mu\text{V}$) und bei EEG 4 bei $310,6 \pm 105,0 \mu\text{V}$ (Min. $141 \mu\text{V}$; Max. $548 \mu\text{V}$). Dagegen lagen die durchschnittlichen maximalen Ausschläge der frontoparen Ableitungen (EEG 5 und EEG 6) deutlich niedriger. Bei EEG 5 betrug der durchschnittliche maximale Ausschlag $255,4 \pm 80,4 \mu\text{V}$ (Min. $126 \mu\text{V}$; Max. $446 \mu\text{V}$) und bei EEG 6 betrug dieser $256,5 \pm 80,4 \mu\text{V}$ (Min. $126 \mu\text{V}$; Max. $574 \mu\text{V}$). Das EOG selbst ist nicht zu beurteilen, da die EEG-Wellen auf das EOG übertragen werden. Das EMG befindet sich in einem niedriggespannten Zustand (s. Abb. 10,11 und 12).

Bei allen Fohlen waren im Tiefschlaf große Ausschläge, die über alle EEGs und beide EOGs reichten, auffindbar (s. Abb. 10 und 11).

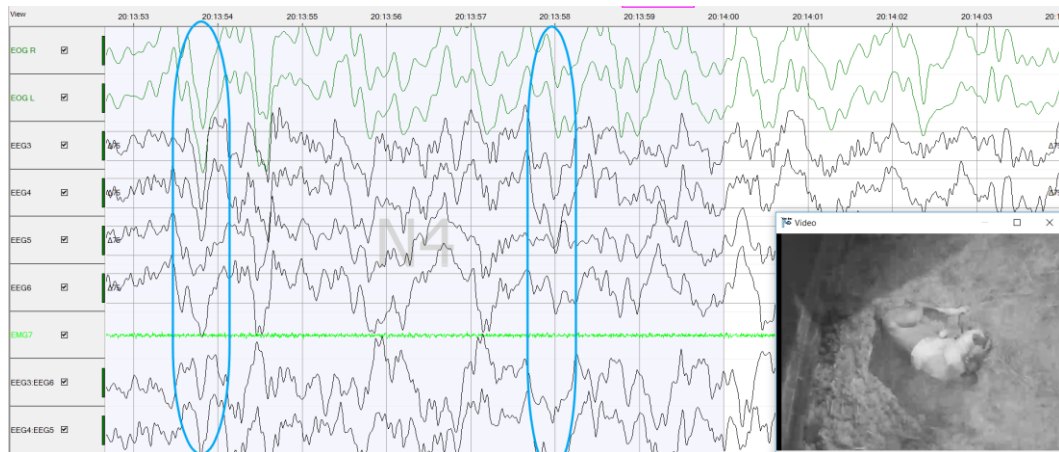


Abbildung 10: Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens (Fohlen Nr. 6) in Brust-Bauch-Lage. Große Ausschläge, die über alle EEGs und das EOG gehen, sind blau umrandet. Das EMG ist von diesen Ausschlägen nicht betroffen.

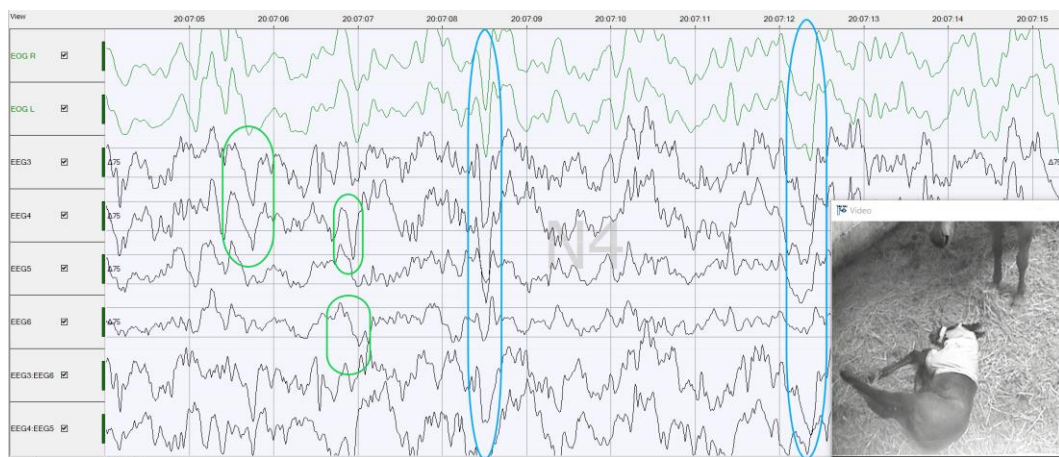


Abbildung 11: Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens (Fohlen Nr. 9) in Seitenlage. Das EMG wurde aufgrund von Artefakten ausgeschnitten. Blau umrandet sind die beschriebenen Zacken, die über alle EEGs und EOGs laufen. Grün umrandet sind K-Komplexähnliche Graphoelemente.

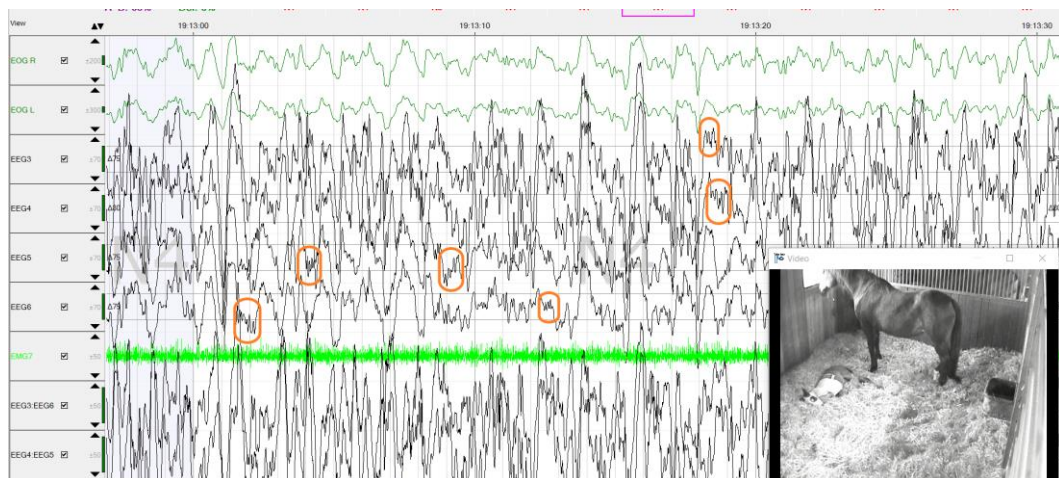


Abbildung 12: Polysomnographische Aufzeichnungen des Tiefschlafs eines Fohlens (Fohlen Nr. 2) in Seitenlage. Orange umrandet sind Schlafspindeln.

Oftmals konnte nach Tiefschlafphasen eine charakteristische Körperhaltung nach dem Aufstehvorgang beobachtet werden. Die Fohlen nahmen den Kopf aus niedriger Position (unterhalb des Schultergelenkes) nach oben und beugten das Genick maximal. Daraufhin lehnten sie sich nach hinten, bis die Vorderbeine komplett gestreckt waren (s. Abb. 13).



Abbildung 13: Charakteristische Körperhaltung der Fohlen direkt nach dem Aufstehen aus einer Tiefschlafphase (hier beispielsweise Fohlen Nr. 8).

1.1.4. REM-Schlaf

Bei allen 10 Fohlen konnten sehr wenige Episoden des REM-Schlafs festgestellt werden. In diesen Episoden zeigte sich in den EEGs eine sehr niedergespannte Aktivität innerhalb der 70 μ V-Grenze. Das EMG war ebenso niedriggespannt. Im EOG konnten die gegenläufigen schnellen Augenbewegungen, die namensgebend für dieses Schlafstadium sind, festgestellt werden. Auffallend in diesem Schlafstadium war die Übertragung der Augenbewegungen auf EEG 5 und EEG 6 (s. Abb. 14). In diesen Aufzeichnungen waren die Augenbewegungen durch größere Ausschläge als im eigentlichen EOG gekennzeichnet.

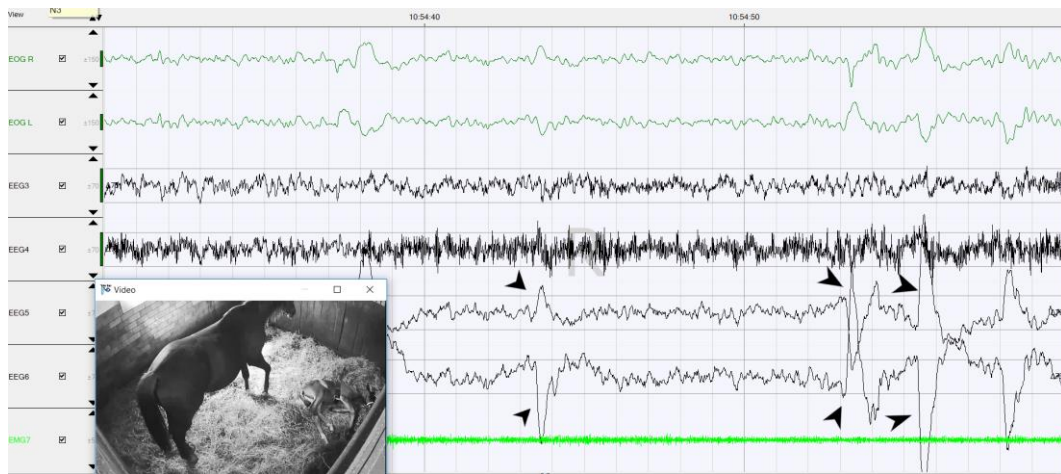


Abbildung 14: Polysomnographische Aufzeichnungen des REM-Schlafs bei einem Fohlen (Fohlen Nr. 9) in Seitenlage. Die Augenbewegungen werden deutlich auf EEG 5 und EEG 6 übertragen (Pfeilspitzen).

Während des Kot- und Urinabsatzes konnten Gehirnströme gemessen werden, die sich in Bezug auf EOG und EEG ähnlich wie während der eigentlichen REM-Phasen im Liegen darstellten. Allerdings war das EMG während dieser Phasen höher gespannt (s. Abb. 15).

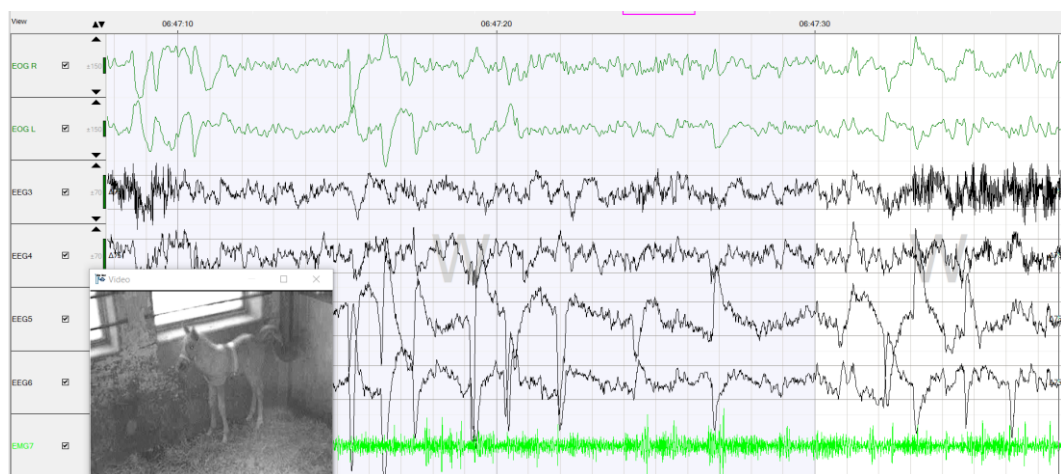


Abbildung 15: REM-schlafähnliche Gehirnströme eines Fohlens während des Kotabsatzes: In EEG 5 und EEG 6 sind die übertragenen Augenbewegungen erkennbar, das EMG ist höhergespannt als während des „echten“ REM-Schlafs (s. Abb. 14).

1.2. Quantitative Bestimmung der Schlafstadien

Der 24-Stunden-Zeitraum wurde zum einen in Tag (von 06.00 bis 21.00 Uhr) und Nacht (von 21.00-06.00 Uhr) und zum anderen in Zeitabschnitte von jeweils drei Stunden unterteilt. Im Folgenden wird auf den prozentualen Anteil, die Dauer und die Häufigkeiten der Vigilanzstadien eingegangen. Außerdem werden die Besonderheiten der jeweiligen Vigilanzstadien aufgezeigt.

1.2.1. Prozentualer Anteil der Vigilanzstadien

Es wurde der prozentuelle Anteil der jeweiligen Vigilanzstadien an der Gesamtmesszeit bestimmt (s. Abb. 16 und Tab. 8). So verbrachten die Fohlen sowohl tags- als auch nachts über signifikant ($p < 0.001$) am meisten Zeit im Wachzustand und signifikant ($p < 0.001$) am wenigsten Zeit im REM-Schlaf. Die durchschnittlichen prozentualen Anteile der jeweiligen Vigilanzstadien in den unterschiedlichen Zeitabschnitten sind in Abbildung 16 und Tabelle 8 dargestellt.

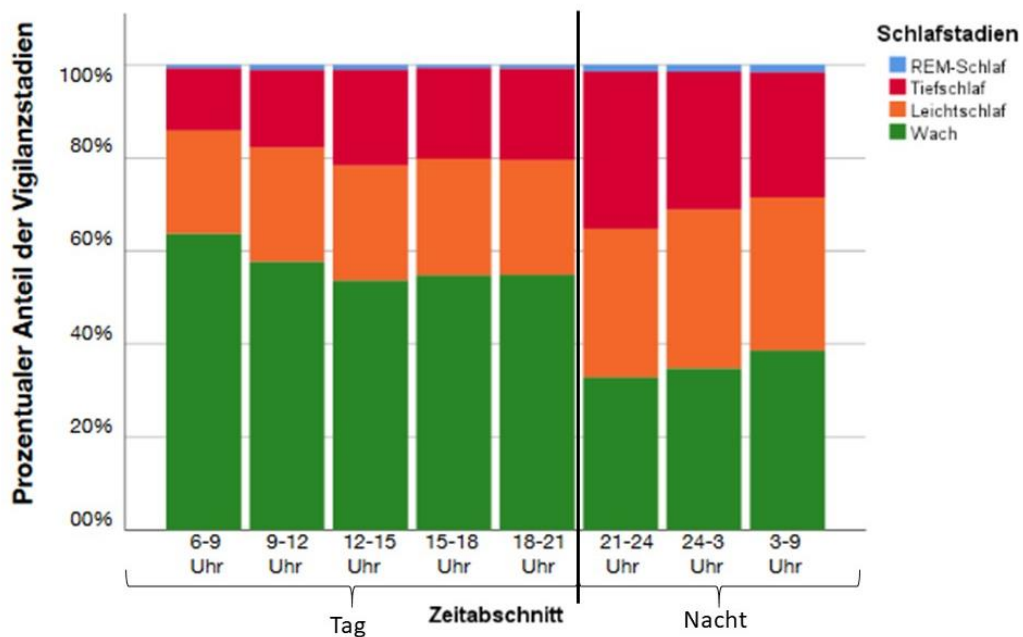


Abbildung 16: Prozentualer Anteil der einzelnen Vigilanzstadien an der Gesamtmesszeit in den jeweiligen Zeitabschnitten von n = 10 Fohlen

Im Tag-Nacht-Vergleich verbrachten die Fohlen tagsüber signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit im Wachzustand als nachts, wohingegen sie nachts signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit sowohl im Leichtschlaf als auch signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit im Tiefschlaf verbrachten als tagsüber. Im prozentualen Anteil des REM-Schlafs an der Gesamtmesszeit konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 17).

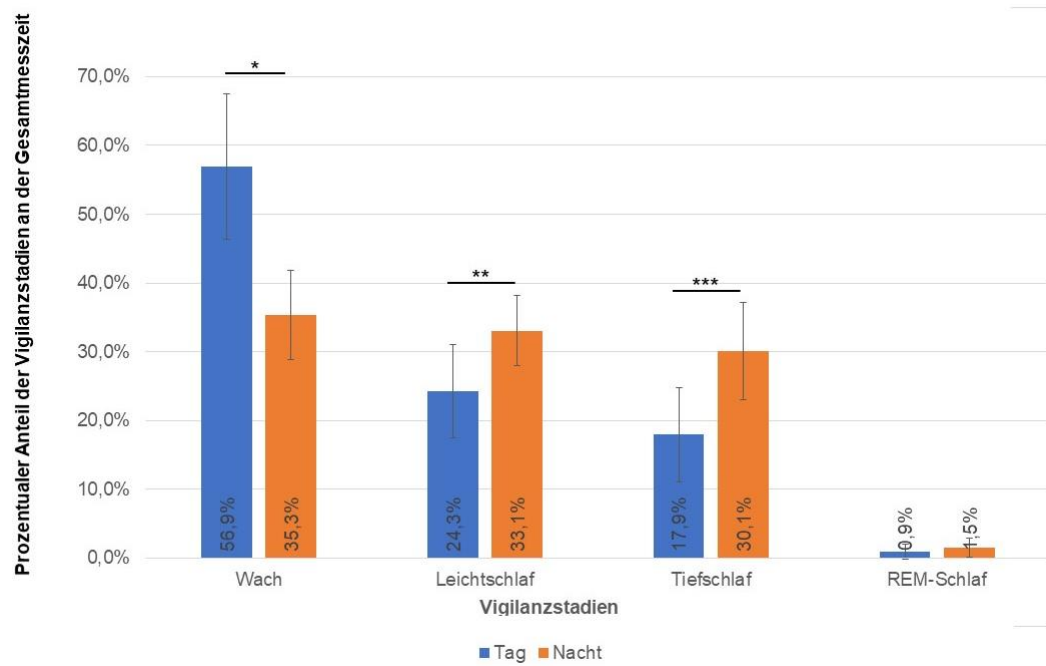


Abbildung 17: Prozentualer Anteil der Vigilanzstadien jeweils im Tag-Nacht-Vergleich (*, **, * = $p < 0,001$)**

Tabelle 8: Prozentualer Anteil der jeweiligen Vigilanzstadien an der Gesamtmesszeit während der einzelnen Zeitabschnitte von n = 10 Fohlen

		Wach	Leichtschlaf	Tiefschlaf	REM-Schlaf
21-24 Uhr	Mittelwert in %	32,8	31,9	33,9	1,4
	Std.-Abweichung	6	4,3	7,7	1,2
	Minimum in %	21,8	25,9	25	0,1
	Maximum in %	39,2	36,9	47,9	3,2
0-3 Uhr	Mittelwert in %	34,7	34,2	29,6	1,5
	Std.-Abweichung	4,3	3,6	5,7	1,1
	Minimum in %	24,7	30,1	22,6	0,3
	Maximum in %	39,9	40,3	42,7	3,2
3-6 Uhr	Mittelwert in %	38,5	33	26,9	1,6
	Std.-Abweichung	8	6,9	6,5	1,9
	Minimum in %	27,4	19,6	16,4	0
	Maximum in %	54,7	41,2	38,8	6,3
6-9 Uhr	Mittelwert in %	63,6	22,3	13,3	0,8
	Std.-Abweichung	10,6	7,3	4,2	0,9
	Minimum in %	49	10,5	7	0
	Maximum in %	82,5	33,5	19,7	2,9
9-12 Uhr	Mittelwert in %	57,6	24,6	16,7	1,1
	Std.-Abweichung	12	8,2	7,9	1,4
	Minimum in %	42,4	9,8	1,8	0
	Maximum in %	88,1	39,2	27,5	4,4
12-15 Uhr	Mittelwert in %	53,6	24,8	20,6	1
	Std.-Abweichung	10,1	6,3	8,4	1,5
	Minimum in %	42,2	12,6	10,1	0
	Maximum in %	76	30,8	35,7	4,6
15-18 Uhr	Mittelwert in %	54,8	25,1	19,4	0,7
	Std.-Abweichung	7	6,3	4,1	0,8
	Minimum in %	44	11,6	13,8	0
	Maximum in %	65,4	31,9	26	2,3
18-21 Uhr	Mittelwert in %	54,9	24,7	19,6	0,8
	Std.-Abweichung	11,2	6,8	7,1	0,6
	Minimum in %	37,2	6,7	7	0
	Maximum in %	76,8	30,7	35	1,7
Insgesamt	Mittelwert in %	48,8	27,6	22,5	1,1
	Std.-Abweichung	14	7,5	9,1	1,2
	Minimum in %	21,8	6,7	1,8	0
	Maximum in %	88,1	41,2	47,9	6,3
Nacht	durchschnittlicher prozentualer Anteil des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	35,3	33,0	30,1	1,5

	Std.-Abweichung	6,5	5,1	7,1	1,4
Tag	durchschnittlicher prozentualer Anteil des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	56,9	24,3	17,92	0,88
	Std.-Abweichung	10,5	6,8	6,9	1,1

1.2.2. Dauer der einzelnen Vigilanzstadien

Des Weiteren wurde die Dauer der jeweiligen Vigilanzstadien ausgewertet. Es zeigt sich, dass sich die Dauer der Wach- und der Tiefschlafphasen jeweils im Tag-Nacht-Vergleich unterscheidet, während die Dauer der Leichtschlaf- und REM-Schlafphasen über die Messzeit von 24-Stunden gleichbleibend ist. Einen Überblick über die durchschnittliche Dauer der jeweiligen Vigilanzstadien während der unterschiedlichen Zeitabschnitte ist in Abbildung 18 und Tabelle 9 dargestellt.

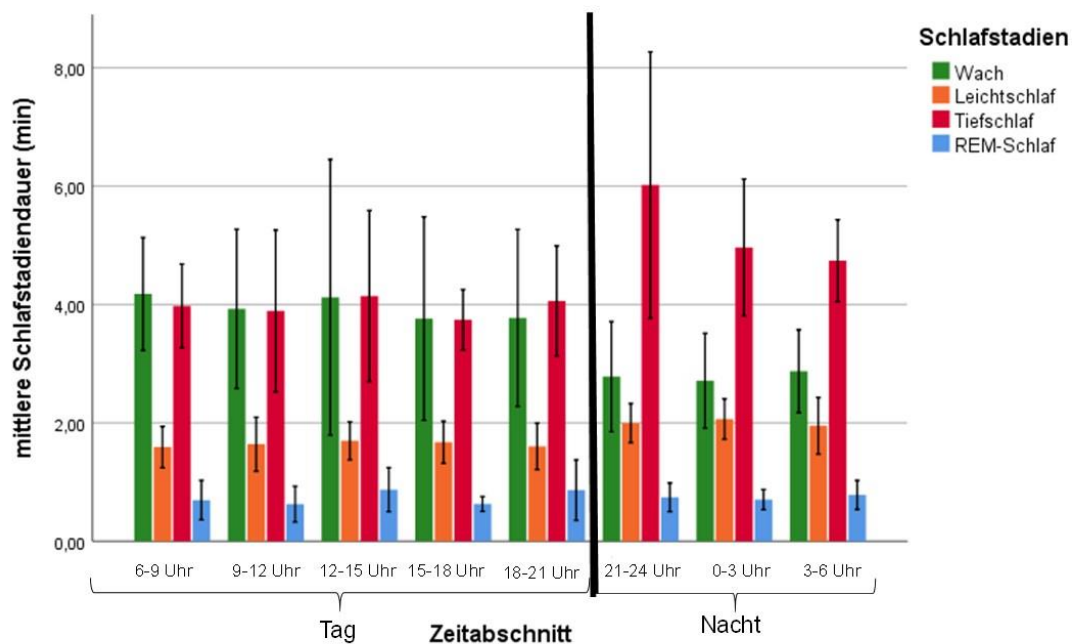


Abbildung 18: Durchschnittliche Dauer der einzelnen Vigilanzstadien während der jeweiligen Zeitabschnitte von n = 10 Fohlen

Die Länge der Vigilanzstadienphasen unterscheidet sich im Tag-Nacht-Vergleich innerhalb der unterschiedlichen Vigilanzstadien. So ist die Dauer der Wachphasen tagsüber signifikant ($p < 0,001$) länger als nachts, wohingegen die Dauer der Leichtschlafphasen nachts signifikant ($p < 0,001$) länger ist als tagsüber. Auch die Dauer der Tiefschlafphasen ist nachts signifikant ($p = 0,004$).

länger als tagsüber. Bei der Dauer der REM-Schlafphasen kann im Tag-Nacht-Vergleich kein signifikanter ($p = 0,857$) Unterschied festgestellt werden (s. Abb. 19).

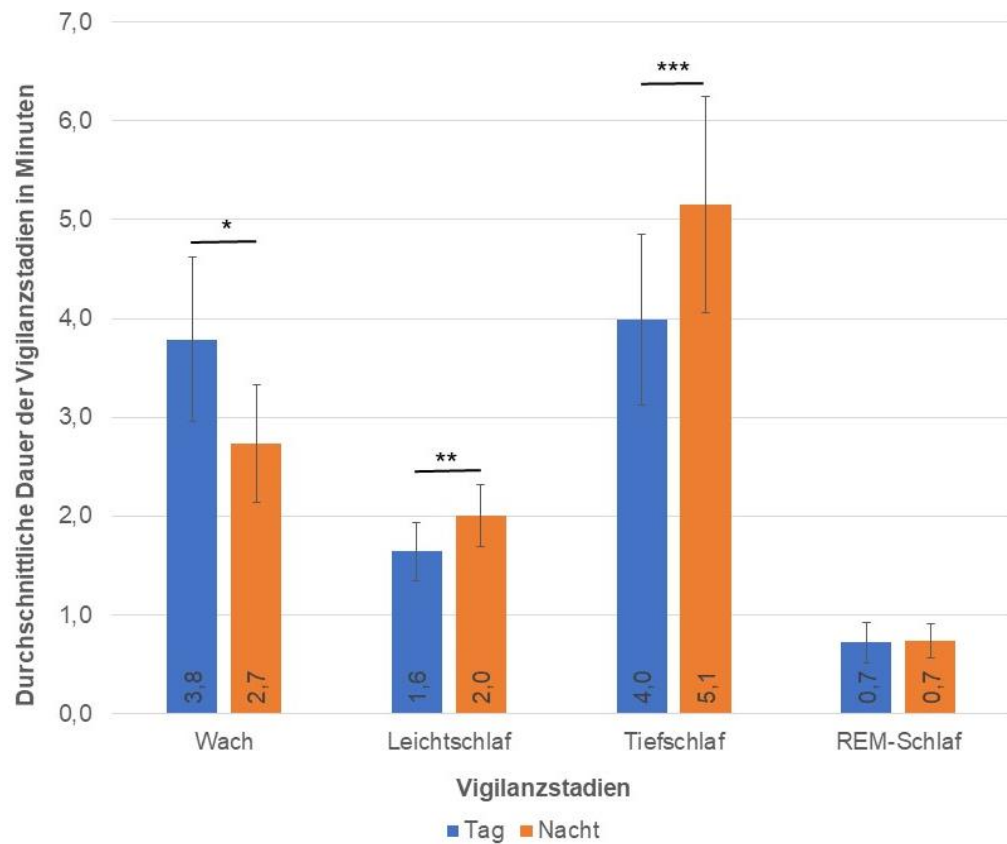


Abbildung 19: Durchschnittliche Dauer der Vigilanzstadien jeweils im Tag-Nacht-Vergleich (*, ** = $p < 0,001$; * = $p = 0,004$).**

Tabelle 9: Durchschnittliche Dauer der einzelnen Vigilanzstadienphasen während der jeweiligen Zeitabschnitte von n = 10 Fohlen

		Wach	Leichtschlaf	Tiefschlaf	REM-Schlaf
6-9 Uhr	Mittelwert in Minuten	4,18	1,59	3,97	0,69
	Std.-Abweichung	0,95	0,35	0,71	0,33
	Minimum in Minuten	2,62	1,13	2,85	0,5
	Maximum in Minuten	5,88	2,19	4,92	1,5
9-12 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,92	1,64	3,89	0,63
	Std.-Abweichung	1,34	0,46	1,37	0,3
	Minimum in Minuten	2,6	1	2,34	0,5
	Maximum in Minuten	6,96	2,19	6,29	1,36
12-15 Uhr	Mittelwert in Minuten	4,12	1,7	4,14	0,87
	Std.-Abweichung	2,33	0,32	1,45	0,37
	Minimum in Minuten	2,1	1,29	2,69	0,5
	Maximum in Minuten	10,34	2,28	6,57	1,5
15-18 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,76	1,67	3,74	0,63
	Std.-Abweichung	1,72	0,36	0,51	0,12
	Minimum in Minuten	1,83	1,14	2,88	0,5
	Maximum in Minuten	7,33	2,28	4,27	0,77
18-21 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,77	1,6	4,06	0,86
	Std.-Abweichung	1,49	0,39	0,93	0,51
	Minimum in Minuten	2,31	0,93	2,83	0,5
	Maximum in Minuten	7,41	2,29	6,21	2
21-24 Uhr	Mittelwert in Minuten	2,78	2	6,02	0,74
	Std.-Abweichung	0,93	0,33	2,25	0,24
	Minimum in Minuten	1,46	1,47	3,52	0,5
	Maximum in Minuten	4,76	2,43	9,62	1,29
0-3 Uhr	Mittelwert in Minuten	2,71	2,06	4,96	0,7
	Std.-Abweichung	0,8	0,34	1,16	0,17
	Minimum in Minuten	1,54	1,58	2,91	0,5
	Maximum in Minuten	3,88	2,47	7	1,11
3-6 Uhr	Mittelwert in Minuten	2,87	1,95	4,74	0,78
	Std.-Abweichung	0,7	0,48	0,69	0,25
	Minimum in Minuten	1,82	1,23	3,81	0,5
	Maximum in Minuten	4,31	2,79	5,75	1,25
Insgesamt	Mittelwert in Minuten	3,51	1,78	4,44	0,73
	Std.-Abweichung	1,44	0,41	1,39	0,3
	Minimum in Minuten	1,46	0,93	2,34	0,5
	Maximum in Minuten	10,34	2,79	9,62	2
Tag	durchschnittliche Dauer des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	3,79	1,64	3,98	0,72
	Std.-Abweichung	0,84	0,29	0,86	0,21
Nacht	durchschnittliche	2,73	2,00	5,15	0,74

	Dauer des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt				
	Std.-Abweichung	0,59	0,32	1,09	0,17

1.2.3. Häufigkeiten der einzelnen Vigilanzstadien

Insgesamt zeigten die Fohlen im 48-Stundenverlauf $976,0 \pm 198,1$ (Min. 736;0 Max. 138,5) Wechsel der Vigilanzstadien mit $381,0 \pm 62,9$ (Min. 317;0 Max. 490,0) Wachphasen, $419,0 \pm 88,3$ (Min. 286,0 Max. 595,0) Leichtschlafphasen, $137,0 \pm 29,6$ (Min. 96;0 Max. 189,0) Tiefschlafphasen und $39,0 \pm 30,9$ (Min. 6;0; Max. 115,0) REM-Schlafphasen (s. Abb. 20 und Tab. 10). Des Weiteren wurde die durchschnittliche Anzahl der jeweiligen Vigilanzstadien im Tag-Nacht-Vergleich bestimmt (s. Abb. 21 und Tab. 11). Aus Abbildung 21 wird deutlich, dass sich die Häufigkeiten der Wach- und Leichtschlafphasen im Tag-Nacht-Vergleich unterscheiden, während die Tiefschlaf- und REM-Phasen während des Tages und während der Nacht ungefähr gleich oft stattfinden.

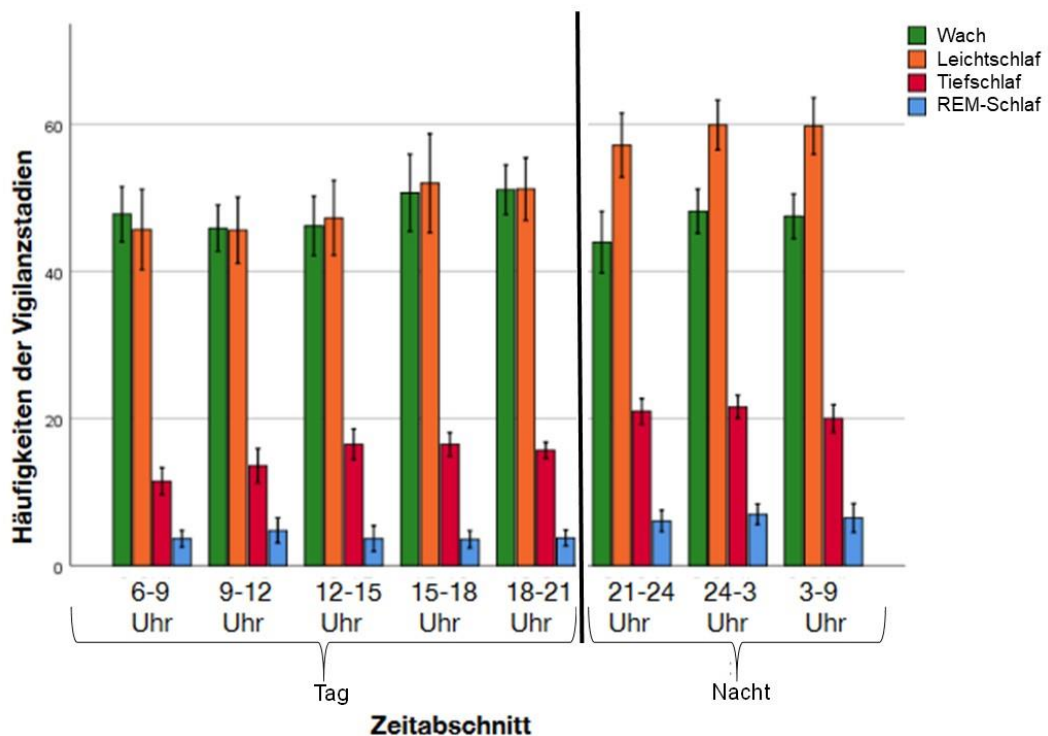


Abbildung 20: Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien in den jeweiligen Zeitabschnitten von n = 10 Fohlen

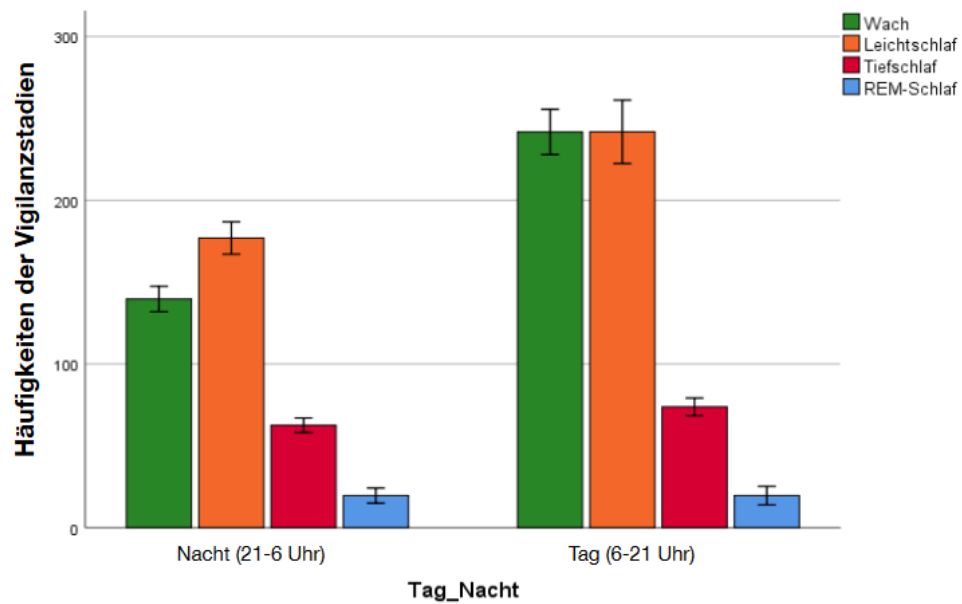


Abbildung 21: Häufigkeiten der Vigilanzstadien während des Tages und während der Nacht von n = 10 Fohlen

Auch innerhalb der Vigilanzstadien lassen sich Unterschiede in der Häufigkeit des Vorkommens im Tag-Nacht-Vergleich finden. So kommt der Wachzustand tagsüber signifikant ($p < 0,001$) häufiger vor als nachts, während die Häufigkeit des Leichtschlafs ($p = 0,002$) und des Tiefschlafs ($p = 0,004$) nachts signifikant häufiger ist als tagsüber. Bei der Häufigkeit des REM-Schlafs konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten ($p = 0,400$) Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 22).

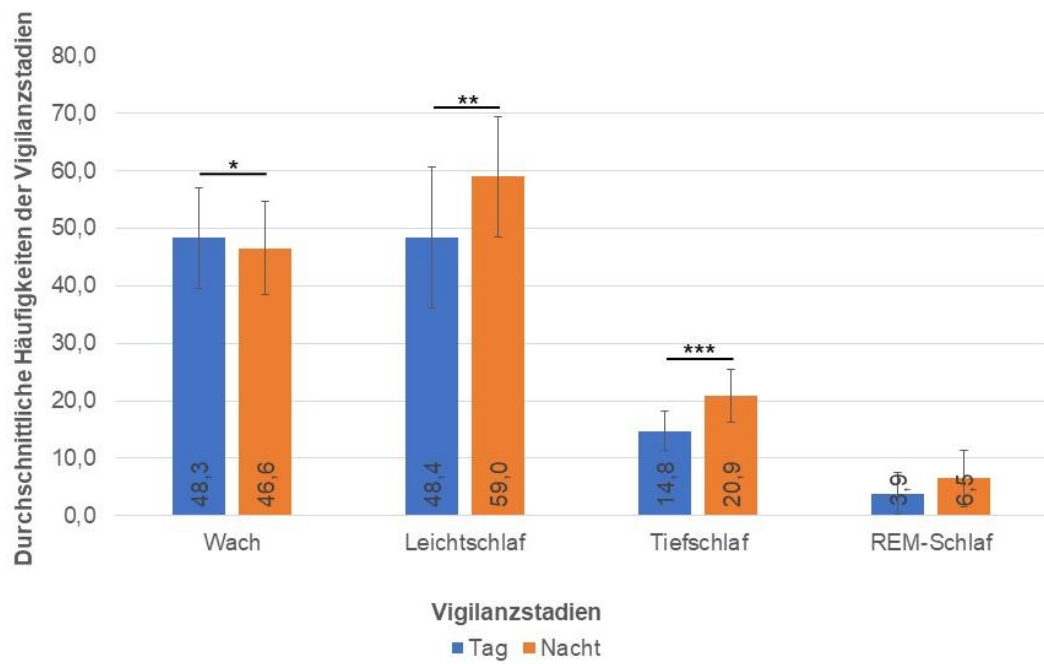


Abbildung 22: Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien jeweils im Tag-Nacht-Vergleich (* = $p < 0,001$; ** = $p = 0,002$; * = $p = 0,004$).**

Tabelle 10: Durchschnittliche Häufigkeiten der Vigilanzstadien in den jeweiligen Zeitabschnitten von n = 10 Fohlen

Zeitabschnitt		Wach	Leichtschlaf	Tiefschlaf	REM-Schlaf
6-9 Uhr	Mittelwert	47,8	45,7	11,5	3,7
	Std.-Abweichung	11,9	17,2	5,7	3,6
	Minimum	26	8	2	0
	Maximum	72	73	20	12
9-12 Uhr	Mittelwert	45,9	45,6	13,6	4,8
	Std.-Abweichung	9,9	14,3	7,4	5,4
	Minimum	35	27	2	0
	Maximum	67	77	25	17
12-15 Uhr	Mittelwert	46,2	47,3	16,5	3,7
	Std.-Abweichung	12,8	16,1	6,6	5,5
	Minimum	25	26	7	0
	Maximum	67	82	27	18
15-18 Uhr	Mittelwert	50,7	52,0	16,5	3,6
	Std.-Abweichung	16,6	21,2	5,1	3,8
	Minimum	30	9	10	0
	Maximum	78	75	25	11
18-21 Uhr	Mittelwert	51,1	51,2	15,7	3,8
	Std.-Abweichung	10,7	13,4	3,5	3,4
	Minimum	34	23	9	0
	Maximum	74	71	21	9
21-24 Uhr	Mittelwert	44,0	57,2	21,	6,1
	Std.-Abweichung	13,3	13,8	5,6	4,6
	Minimum	27	43	13	1
	Maximum	69	85	30	15
0-3 Uhr	Mittelwert	48,2	59,9	21,6	7,0
	Std.-Abweichung	9,5	10,7	5,0	4,5
	Minimum	34	47	15	2
	Maximum	61	81	29	15
3-6 Uhr	Mittelwert	47,5	59,8	20,0	6,5
	Std.-Abweichung	9,7	12,1	6,0	6,2
	Minimum	34	37	12	0
	Maximum	67	77	31	21
Nacht (21-6 Uhr) insgesamt	Mittelwert	139,7	176,9	62,6	19,6
	Std.-Abweichung	24,5	31,2	13,8	14,6
	Minimum	117,0	144,0	46,0	3,0
	Maximum	186,0	243,0	83,0	51,0
Nacht	durchschnittliche Häufigkeit des Vigilanzstadiums	46,6	59,0	20,9	6,5

	pro Zeitabschnitt				
Tag (6-21 Uhr) insgesamt	Mittelwert	241,7	241,8	73,8	19,6
	Std.-Abweichung	43,6	61,1	16,9	17,8
	Minimum	187,0	130,0	50,0	3,0
	Maximum	322,0	352,0	106,0	64,0
Tag	durchschnittliche Häufigkeit des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	48,3	48,4	14,8	3,9

1.2.4. Wachzustand

Signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit verbrachten die Fohlen tagsüber im Wachzustand (56,9 % der Gesamtmesszeit) als nachts (35,3 % der Gesamtmesszeit) (s. Abb. 17). Weder während des Tages ($p = 0,209$), noch während der Nacht ($p = 0,131$), konnten signifikante Unterschiede im prozentualen Anteil des Wachzustandes innerhalb der unterschiedlichen Zeitabschnitte beobachtet werden (s. Abb. 16 und Tab. 8).

Im Tagesverlauf wurde mit durchschnittlich $63,3 \pm 10,6$ % im Zeitraum zwischen 06.00 und 09.00 Uhr am meisten Zeit im Wachzustand verbracht. Am wenigsten Zeit im Wachzustand verbrachten die Fohlen im Zeitabschnitt zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht. Während dieses Zeitabschnitts wurden $32,8 \pm 6,0$ % der Messzeit im Wachzustand verbracht (s. Abb. 16 und Tab. 8).

Auch die durchschnittliche Dauer der einzelnen Wachphasen war im Zeitabschnitt zwischen 06.00 und 09.00 Uhr am längsten. Diese betrug im Durchschnitt $4,2 \pm 1,0$ Minuten. Am kürzesten dauerten die einzelnen Wachphasen durchschnittlich zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr. In diesem Zeitabschnitt betrug die durchschnittliche Dauer $2,7 \pm 0,8$ Minuten (s. Abb. 20 und Tab. 9).

Im 48-Stundenverlauf zeigten die Fohlen im Schnitt $381,0 \pm 62,9$ (Min. 317; Max. 490) Wachphasen. Mit $51,1 \pm 10,7$ (Min. 34; Max. 74) Wachphasen wechselten die Fohlen zwischen 18.00 und 21.00 Uhr am häufigsten in den Wachzustand. Am seltensten kam das Vigilanzstadium Wach mit einer Frequenz von $44,0 \pm 13,3$ (Min. 27; Max. 69) zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht vor. Während des 24-Stundenverlaufs konnte keine Korrelation ($p = 0,849$, $\rho = 0,22$) der Häufigkeiten des Wachzustandes festgestellt werden. Im Tag-Nacht-Vergleich wechselten die Fohlen tagsüber deutlich häufiger ($p < 0,001$) in den Wachzustand als nachts. Tagsüber erfolgten im Schnitt $241,7 \pm 43,6$ Wechsel in

den Wachzustand, nachts dagegen nur $139,7 \pm 24,5$ (s. Abb. 21 und Abb. 22 sowie Tab. 10).

1.2.4.1. Interindividuelle Unterschiede

In Tabelle 11 sind die interindividuellen Unterschiede der zehn Fohlen in Bezug auf Dauer und Häufigkeit der Wachphasen dargestellt. Die häufigsten Wachphasen im 48-Stundenverlauf zeigte „Don Perignon“ (Fohlen Nr. 8) mit insgesamt 490 Wachphasen. Dieses Fohlen zeigte auch während der Zeitabschnitte eins (24.00 bis 03.00 Uhr), drei (06.00-09.00 Uhr), sechs (15.00 bis 18.00 Uhr) und sieben (18.00-21.00 Uhr) die häufigsten Wachphasen im Vergleich zu den anderen Fohlen. Am wenigsten Wachphasen im 48-Stundenverlauf zeigte „Mael“ (Fohlen Nr. 4) mit insgesamt 317 Wachphasen. Dieses Fohlen zeigte auch während der Zeitabschnitte fünf (12.00 bis 15.00 Uhr) und sechs (15.00 bis 18.00 Uhr) die wenigsten Wachphasen.

Durchschnittlich die längsten Wachphasen hatte „Mael“ mit $4,4 \pm 6,9$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 76,0 Minuten). Im 48-Stundenverlauf konnten bei „Don Perignon“ (Fohlen Nr. 8) die durchschnittlich am kürzesten dauernden Wachphasen festgestellt werden.

Tabelle 11: Interindividuelle Unterschiede der Fohlen in Bezug auf den Wachzustand

Zeitabschnitte als Uhrzeit angegeben, in Klammern Zeitabschnitt Nummer	Dauer der Vigilanzstadien in Min.		Häufigkeit der Vigilanzstadien	
	kürzeste Dauer	längste Dauer	seltenstes Auftreten	häufigstes Auftreten
00.00-03.00 (1)	Don Perignon (Nr.8)	Kalinka (Nr. 6)	Lilli (Nr. 10)	Don Perignon (Nr.8)
03.00-06.00 (2)	Don Perignon (Nr.8)	Lilli (Nr. 10)	Be Invitings Vivian Nr. 1)	Glide Chip (Nr. 2)
06.00-09.00 (3)	Don Perignon (Nr.8)	Glide Chip (Nr. 2)	Be Invitings Vivian Nr. 1)	Don Perignon (Nr.8)
09.00-12.00 (4)	Be Invitings Vivian Nr. 1)	Don Perignon (Nr.8)	Glide Chip (Nr. 4)	Feu Susa (Nr. 3)
12.00-15.00 (5)	Don Perignon (Nr.8)	Mael (Nr.4)	Mael (Nr.4)	Feu Susa (Nr. 3)
15.00-18.00 (6)	Don Perignon (Nr.8)	Mael (Nr.4)	Mael (Nr. 4)	Don Perignon (Nr.8)
18.00-21.00 (7)	Don Perignon (Nr.8)	Cidre Cuo (Nr. 7)	Cidre Cuo (Nr. 7)	Don Perignon (Nr.8)
21.00-24.00 (8)	Feu Susa (Nr. 3)	Cidre Cuo (Nr. 7)	Cidre Cuo (Nr. 7)	Feu Susa (Nr. 3)
Insgesamt	Don Perignon (Nr.8)	Mael (Nr. 4)	Mael (Nr. 4)	Don Perignon (Nr. 8)

1.2.5. Leichtschlaf

Die Fohlen (n = 10) verbrachten nachts mit durchschnittlich 33,1 % der Gesamtmesszeit mehr Zeit im Leichtschlaf ($p < 0,001$) als tagsüber (24,3 % der Gesamtmesszeit) (s. Abb. 17).

Im 24-Stundenverlauf am meisten Zeit im Leichtschlaf verbrachten die Fohlen im Durchschnitt mit $34,2 \pm 3,6$ % der Messzeit im Zeitabschnitt zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr. Den geringsten Anteil des Leichtschlafs verbrachten die Fohlen mit durchschnittlich $22,3 \pm 7,9$ % der Messzeit zwischen 06.00 und 09.00 Uhr (s. Abb. 16 und Tab. 8).

Auch die durchschnittliche Dauer der einzelnen Leichtschlafphasen war im

Zeitabschnitt zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr mit durchschnittlich $2,1 \pm 0,3$ Minuten am längsten. Am kürzesten hingegen waren die Leichtschlafphasen zwischen 06.00 und 09.00 Uhr. In diesem Zeitabschnitt betrug die durchschnittliche Dauer einer Leichtschlafphase $1,6 \pm 0,4$ Minuten (s. Abb. 18 und Tab. 9).

Im Durchschnitt zeigten die Fohlen zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr die meisten Leichtschlafphasen. In diesem Zeitabschnitt wechselten sie im Schnitt $59,9 \pm 10,7$ Mal (Min. 47 Mal; Max. 81 Mal) in den Leichtschlaf. Die wenigsten Leichtschlafphasen zeigten die Fohlen mit $45,6 \pm 14,3$ zwischen 09.00 und 12.00 Uhr. Während des 24-Stundenverlaufs konnte eine stetige Zunahme ($p < 0,001$; $\rho = 3,86$) der Häufigkeit der Leichtschlafphasen von 06.00 Uhr morgens bis 06.00 Uhr morgens am nächsten Tag verzeichnet werden. Tagsüber fanden im Schnitt $241,8 \pm 61,1$ Leichtschlafphasen statt, nachts $176,9 \pm 31,2$. Somit wechselten die Fohlen tagsüber signifikant ($p = 0,002$) häufiger in den Leichtschlaf als nachts (s. Abb. 21 und Abb. 22).

1.2.5.1. Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Leichtschlafphasen

In Tabelle 12 sind die interindividuellen Unterschiede in Bezug auf die Dauer der Leichtschlafphasen der zehn Fohlen während der acht Zeitabschnitte dargestellt. Jedes der Fohlen ($n = 10$) zeigte in jedem der acht Zeitabschnitte Leichtschlaf. Durchschnittlich die längsten Leichtschlafphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Bruno“ (Fohlen Nr. 9) mit $2,1 \pm 2,0$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 10,5 Minuten). Am kürzesten dauerten die Leichtschlafphasen im 24-Stundenverlauf bei „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3) mit einer durchschnittlichen Dauer von $1,3 \pm 1,1$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 11,0 Minuten).

Tabelle 12: Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Leichtschlafphasen der zehn Fohlen während der acht Zeitabschnitte

Zeitabschnitte als Uhrzeit angegeben, in Klammern Zeitabschnitt Nummer)	Dauer der Leichtschlafphasen in Bezug auf die unterschiedlichen Fohlen	
	kürzester Dauer	längste Dauer
00.00-03.00 (1)	Don Perignon (Nr. 8)	Mael (Nr. 4)
03.00-06.00 (2)	Feu Susa (Nr. 3)	Bruno (Nr. 9)
06.00-09.00 (3)	Glide Chip (Nr. 2)	Bruno (Nr. 9)
09.00-12.00 (4)	Don Perignon (Nr. 8)	Lilli (Nr. 10)
12.00-15.00 (5)	Finest little Romeo (Nr. 5)	Lilli (Nr. 10)
15.00-18.00 (6)	Feu Susa (Nr. 3)	Mael (Nr. 4)
18.00-21.00 (7)	Finest little Romeo (Nr. 5)	Cidre-Cup (Nr. 7)
21.00-24.00 (8)	Don Perignon (Nr. 8)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
Insgesamt	Feu Susa (Nr. 3)	Bruno (Nr. 9)

1.2.6. Tiefschlaf

Signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit im Tiefschlaf verbrachten die Fohlen mit durchschnittlich 30,1 % der Gesamtmesszeit nachts. Tagsüber wurden dagegen nur 17,0 % der Gesamtmesszeit im Tiefschlaf verbracht (s. Abb. 17 und Tab. 8).

Der prozentual größte Anteil des Tiefschlafs wurde im Tagesverlauf zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht mit $33,9 \pm 7,7$ % verbracht. Der geringste Anteil des Tiefschlafs im Tagesverlauf fand zwischen 06.00 und 09.00 Uhr statt. In diesem Zeitabschnitt betrug der durchschnittliche prozentuale Anteil der im Tiefschlaf verbrachten Zeit $13,3 \pm 4,2$ % der Messzeit (s. Abb. 16 und Tab. 8).

Die Dauer der einzelnen Tiefschlafphasen war zwischen 15.00 und 18.00 Uhr mit durchschnittlich $3,7 \pm 0,5$ Minuten am kürzesten. Am längsten dauerten die Tiefschlafphasen zwischen 21.00 und 24.00 Uhr. In diesem Zeitabschnitt betrug die durchschnittliche Dauer einer einzelnen Tiefschlafphase im Schnitt $6,0 \pm 2,3$ Minuten (s. Abb. 18 und Tab. 9).

Tagsüber konnten signifikant ($p = 0,004$) mehr Tiefschlafphasen als nachts beobachtet werden (s. Abb. 22). So fanden tagsüber durchschnittlich $73,8 \pm 16,9$ Tiefschlafphasen statt, wohingegen nachts nur $62,6 \pm 13,8$ Tiefschlafphasen beobachtet werden konnten. Die häufigsten Tiefschlafphasen kamen jedoch

zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr vor (durchschnittlich $21,60 \pm 4,99$ Tiefschlafphasen). Die wenigsten Tiefschlafphasen (durchschnittlich $11,5 \pm 5,7$) ereigneten sich zwischen 06.00 und 09.00 Uhr. Die Häufigkeit der Tiefschlafphasen nahm von 06.00 Uhr morgens bis 03.00 Uhr am nächsten Morgen deutlich zu ($p < 0,001$; $\rho = 0,468$) (s. Abb. 20 und Tab. 10).

1.2.6.1. Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Tiefschlafphasen

In Tabelle 13 sind die interindividuellen Unterschiede in der Dauer der Tiefschlafphasen der zehn Fohlen während der unterschiedlichen Zeitabschnitte dargestellt. Alle Fohlen ($n = 10$) zeigten in jedem der acht Zeitabschnitte Tiefschlafphasen. Am längsten dauerten diese im 24 Stundenverlauf mit durchschnittlich $6,1 \pm 5,5$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 30 Min) bei Fohlen „Mael“ (Fohlen Nr. 4). Die durchschnittlich kürzeste Dauer der Tiefschlafphasen im 24Stundenverlauf zeigte „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3) mit durchschnittlich $3,3 \pm 3,1$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 16,5 Minuten). Nur eines der zehn Fohlen („Lilli“ (Fohlen Nr. 10)) zeigte im 24-Stundenverlauf während eines Zeitabschnittes (zwischen 15.00 und 18.00 Uhr) die durchschnittlich am kürzesten dauernden Tiefschlafphasen und in einem anderen Zeitabschnitt (zwischen 21.00 und 24.00 Uhr) die im Durchschnitt am längsten dauernden Tiefschlafphasen.

Tabelle 13: Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Tiefschlafphasen der zehn Fohlen während der acht Zeitabschnitte

Zeitabschnitte als Uhrzeit angegeben, in Klammern Zeitabschnitt Nummer	Dauer der Tiefschlafphasen in Bezug auf die unterschiedlichen Fohlen	
	kürzester Dauer	längste Dauer
00.00-03.00 (1)	Cidre Cup (Nr. 7)	Bruno (Nr. 9)
03.00-06.00 (2)	Glide Chip (Nr. 2)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
06.00-09.00 (3)	Feu Susa (Nr. 3)	Mael (Nr. 4)
09.00-12.00 (4)	Feu Susa (Nr. 3)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
12.00-15.00 (5)	Feu Susa (Nr. 3)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
15.00-18.00 (6)	Lilli (Nr. 10)	Finest little Romeo (Nr. 5)
18.00-21.00 (7)	Cidre Cup (Nr. 7)	Mael (Nr. 4)
21.00-24.00 (8)	Cidre Cup (Nr. 7)	Lilli (Nr. 10)
Insgesamt	Feu Susa (Nr. 3)	Mael (Nr. 4)

1.2.7. REM-Schlaf

Im Tag-Nacht-Vergleich konnte am prozentualen Anteil der REM-schlafartigen Gehirnströme kein Unterschied ($p = 0,082$) festgestellt werden (s. Abb. 17). Nachts verbrachten die Fohlen durchschnittlich 0,2 % der Gesamtmesszeit im REM-Schlaf, tagsüber 0,1 % der Gesamtmesszeit (s. Abb. 16 und Tab. 8).

Die meisten REM-artigen Gehirnströme konnten zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr festgestellt werden (durchschnittlich $7,0 \pm 4,5$ Phasen mit REM-Schlafartigen Gehirnströmen). Durchschnittlich $3,6 \pm 3,8$ Phasen mit REM-schlafartigen Gehirnströmen und somit im Tagesverlauf am wenigsten wurden zwischen 15.00 und 18.00 Uhr beobachtet. Im Tag-Nacht-Vergleich konnte in der Häufigkeit der Rem-Schlafphasen kein signifikanter ($p = 0,400$) Unterschied festgestellt werden (s. Abb. 20 und 21 sowie Tab. 10).

1.2.7.1. Interindividuelle Unterschiede

Nur drei der zehn Fohlen zeigten in jedem Zeitabschnitt REM-Schlaf bzw. REM-Schlafähnliche Gehirnströme („Kalinka“ (Fohlen Nr. 6), „Don Perignon“ (Fohlen Nr. 8), „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3)). Während der Zeitabschnitte eins (00.00 bis

03.00 Uhr) und acht (21.00 Uhr bis Mitternacht zeigten alle Fohlen REM-Schlaf. Während des Zeitabschnittes fünf (von 12.00 bis 15.00 Uhr) zeigten vier der zehn Fohlen keinen REM-Schlaf („Cidre Cup“ (Fohlen Nr. 7), „Lilli“ (Fohlen Nr. 10), „Mael“ (Fohlen Nr. 4), „Be Invitings Vivian“ (Fohlen Nr. 1)). Die REM-Schlafphasen dauerten im 24-Stundenverlauf mit durchschnittlich $1,0 \pm 0,8$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 3,0 Minuten) bei „Kalinka“ (Fohlen Nr. 6) am längsten. Interessanterweise konnten bei ihr aber während der Zeitabschnitte drei (06.00 bis 09.00 Uhr), sechs (15.00 bis 18.00 Uhr) und acht (21.00 Uhr bis Mitternacht) die am kürzesten andauernden REM-Schlafphasen im Vergleich mit den anderen Fohlen gemessen werden. Die kürzesten REM-Schlafphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Be Invitings Vivian“ (Fohlen Nr. 1) mit $0,5 \pm 0,5$ Minuten (Max. 0.5 Minuten).

2. Liegeverhalten

Das Liegeverhalten der Fohlen wurde parallel zu den polysomnographischen Messungen mittels Infrarotvideokameras aufgezeichnet. Die Körperlagen wurden unterteilt in Stehen, Trinken, Brust-Bauch-Lage und Seitenlage. Wie auch bei den Schlafstadien wurden die Körperlagen einer 30-Sekunden-Epoche zugeordnet. Wenn in einer Epoche mehrere Körperlagen vorkamen, wurde die Körperlage zugeordnet, die mehr als 50 % der Zeit einnahm.

2.1. Prozentualer Anteil der Körperlagen

Jedes der 10 Fohlen nahm in jedem Zeitabschnitt alle Körperlagen ein. Abbildung 20 zeigt die jeweiligen durchschnittlichen prozentualen Anteile der verschiedenen Körperlagen an der Gesamtesszeit.

Die Fohlen verbrachten durchschnittlich $19,4 \pm 7,5$ % der Gesamtmesszeit in Brust-Bauch-Lage, $33,7 \pm 16,3$ % in Seitenlage, $14,8 \pm 6,6$ % trinkend und $32,1 \pm 12,5$ % stehend (s. Abb. 23 und Tab. 14). Aus Abbildung 23 wird erkenntlich, dass der prozentuale Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit nachts höher ist als tagsüber, während der prozentuale Anteil der Stehphasen tagsüber höher ist als nachts. Auch der prozentuale Anteil des Trinkens an der Gesamtmesszeit ist tagsüber größer als nachts. Der Anteil der Brust-Bauch-Lage zeigt während des 24-Stundenverlaufs die geringsten Veränderungen. Die Zahlenwerte sind in Tabelle 14 angegeben.

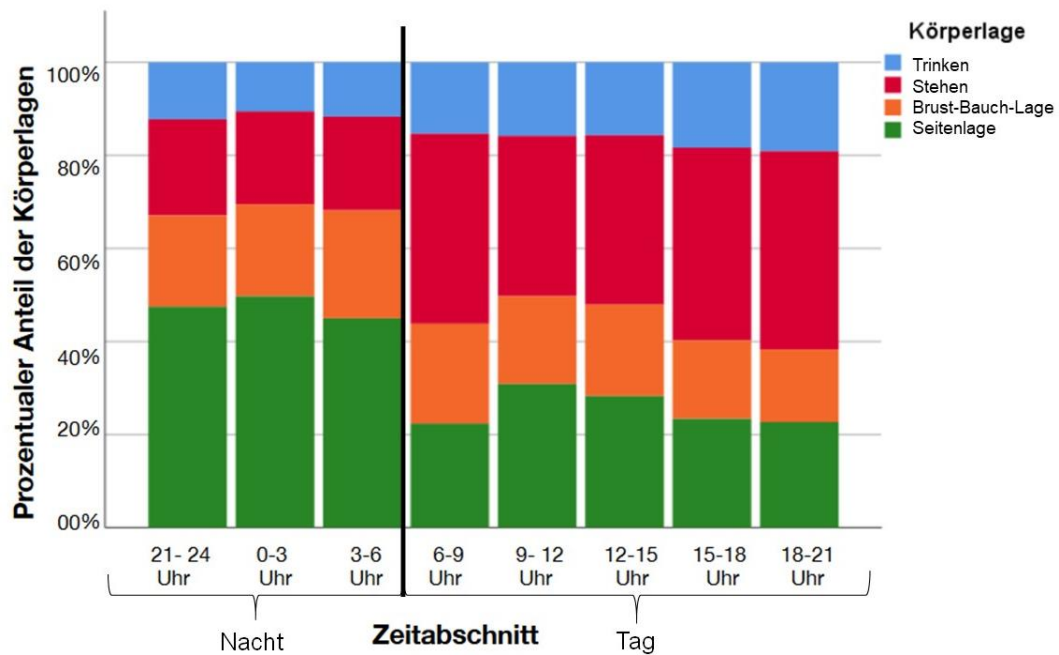


Abbildung 23: Prozentualer Anteil der vier Körperlagen an der Gesamtmesszeit, unterteilt in acht Zeitabschnitte zu jeweils drei Stunden (n = 10 Fohlen)

Im Tag-Nacht-Vergleich der Körperlagen konnten im prozentualen Anteil Unterschiede festgestellt werden. Die Seitenlage nahm nachts signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit ein als tagsüber. Sowohl das Trinken ($p < 0,001$), als auch das Stehen ($p < 0,001$) nahm tagsüber einen größeren prozentualen Anteil der Gesamtmesszeit ein als nachts. Im prozentualen Anteil der Brust-Bauch-Lage an der Gesamtmesszeit konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten ($p = 0,173$) Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 24).

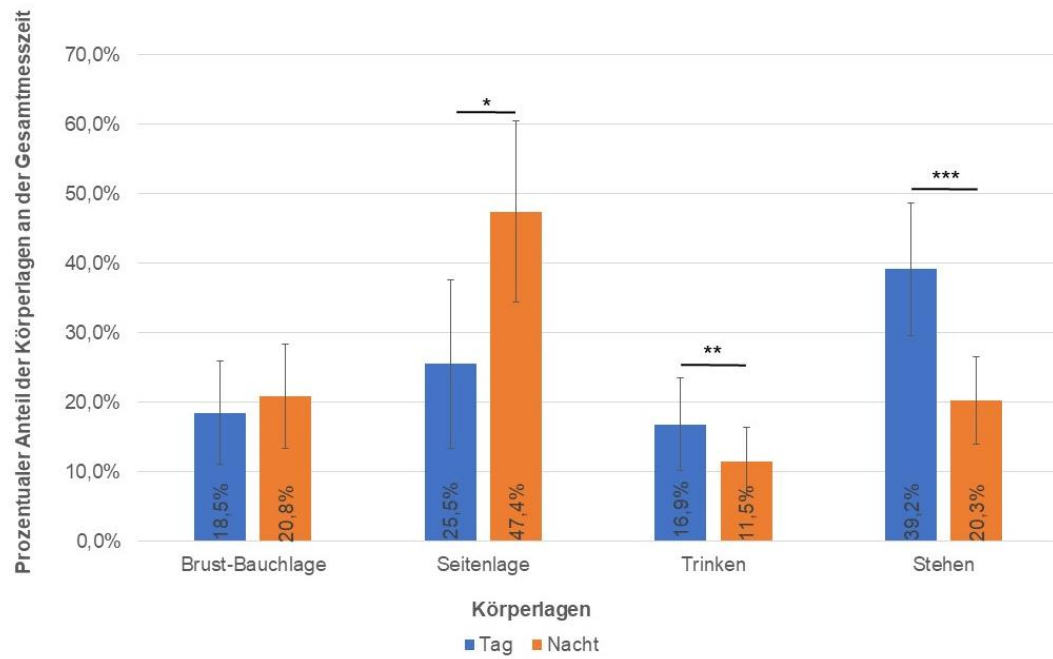


Abbildung 24: Prozentualer Anteil der Körperlagen an der Gesamtmesszeit im Tag-Nacht-Vergleich (*, **, * = $p < 0,001$).**

Tabelle 14: Mittelwert in Prozent der vier Körperlagen in den jeweiligen Zeitabschnitten mit Standardabweichung in Prozent (n = 10 Fohlen)

Zeitabschnitt		Brust-Bauch-Lage	Seitenlage	Trinken	Stehen
0-3 Uhr	Mittelwert in %	19,8	49,7	10,6	19,9
	Std.-Abweichung	8,4	11,3	4,8	4,8
	Minimum in %	5,5	32,2	5,3	11,4
	Maximum in %	30,2	65,7	21,2	26,6
3-6 Uhr	Mittelwert in %	23,2	45	11,7	20,1
	Std.-Abweichung	7,4	15,8	5,4	7,7
	Minimum in %	10,6	14,7	6,5	9
	Maximum in %	30,9	66,6	24	35,5
6-9 Uhr	Mittelwert in %	21,5	22,4	15,3	40,8
	Std.-Abweichung	6,1	9,2	6,2	9,6
	Minimum in %	13,8	11,2	8,4	30,1
	Maximum in %	34	37,8	24,8	61
9-12 Uhr	Mittelwert in %	18,9	30,8	15,8	34,5
	Std.-Abweichung	7	12	6,7	10
	Minimum in %	7,6	9,4	9,4	20,5
	Maximum in %	30,6	46,6	29,9	53,1
12-15 Uhr	Mittelwert in %	19,7	28,2	15,7	36,4
	Std.-Abweichung	9,5	11,5	5,2	7,5
	Minimum in %	8,6	13,9	9,4	30,5
	Maximum in %	37,4	49,7	24,6	55,9
15-18 Uhr	Mittelwert in %	16,8	23,4	18,3	41,5
	Std.-Abweichung	8,5	10,6	7,4	9,8
	Minimum in %	4,1	10,8	10	29,6
	Maximum in %	32,3	48,4	36,4	58
18-21 Uhr	Mittelwert in %	15,6	22,7	19,1	42,6
	Std.-Abweichung	5,2	16,2	8	9,7
	Minimum in %	7,3	5,7	8,2	24,4
	Maximum in %	23,2	57,3	36,1	53,5
21-24 Uhr	Mittelwert in %	19,6	47,5	12,2	20,7
	Std.-Abweichung	7	12,5	4,8	6,8
	Minimum in %	4,6	17,9	7,3	10,2
	Maximum in %	30,9	61,1	24,1	34,6
Insgesamt	Mittelwert in %	19,4	33,7	14,8	32,1
	Std.-Abweichung	7,5	16,3	6,6	12,5
	Minimum in %	4,1	5,7	5,3	9
	Maximum in %	37,4	66,6	36,4	61
Tag	durchschnittlicher prozentualer Anteil der Körperlage pro Zeitabschnitt	8,5	5,5	13,6	15,6
	Std.-Abweichung	2,8	2,1	2,3	3,5

Nacht	durchschnittlicher prozentualer Anteil der Körperlage pro Zeitabschnitt	11,4	8,7	10,7	13,1
	Std.-Abweichung	2,5	2,3	2,4	3,1

2.2. Dauer der Körperlagephasen

Die Dauer der jeweiligen Körperlagephasen wurden mittels Beobachtungen der Videokameras bestimmt. Auch hier wurden die 30-Sekunden-Epochen herangezogen, welchen jeweils eine Körperlage zugeordnet war, die mehr als 50 % der Epoche einnahm. In Abbildung 25 sind die durchschnittlichen Dauern der jeweiligen Körperlagen in den acht Zeitabschnitten von $n = 10$ Fohlen dargestellt. In Tabelle 15 sind die Zahlenangaben zu Abbildung 25 angegeben.

Die durchschnittliche Dauer der einzelnen Körperlagephasen betrug in Brust-Bauch-Lage durchschnittlich $3,4 \pm 1,2$ Minuten, in Seitenlage durchschnittlich $8,3 \pm 3,6$ Minuten, im Trinken durchschnittlich $1,8 \pm 0,4$ Minuten und im Stehen durchschnittlich $3,3 \pm 1,0$ Minuten (s. Abb. 25 und Tab. 15).

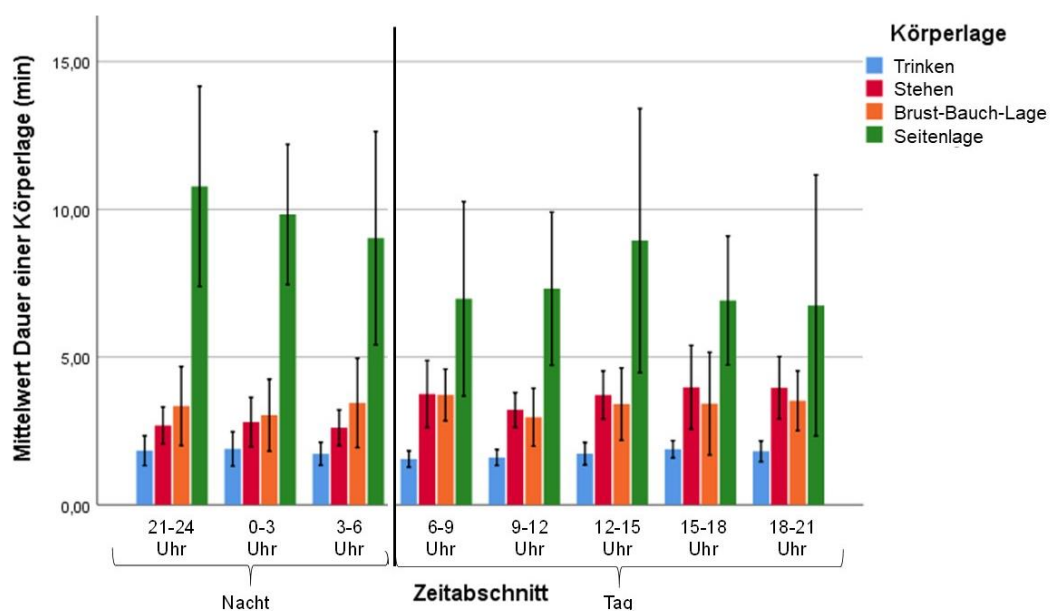


Abbildung 25: Durchschnittliche Dauer der jeweiligen Körperlagen von $n = 10$ Fohlen während der acht Zeitabschnitte

Unterschiede in der Länge der jeweiligen Körperlagephasen im Tag-Nacht-Vergleich sind in Abbildung 26 dargestellt. Die Dauer der Seitenlagephasen war nachts signifikant ($p = 0,002$) länger als tagsüber, wohingegen die Dauer der Stehphasen tagsüber signifikant ($p < 0,001$) länger

war als nachts. In der Dauer der Brust-Bauch-Lage ($p = 0,647$) und der Dauer der Trinkphasen ($p = 0,558$) konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 26).

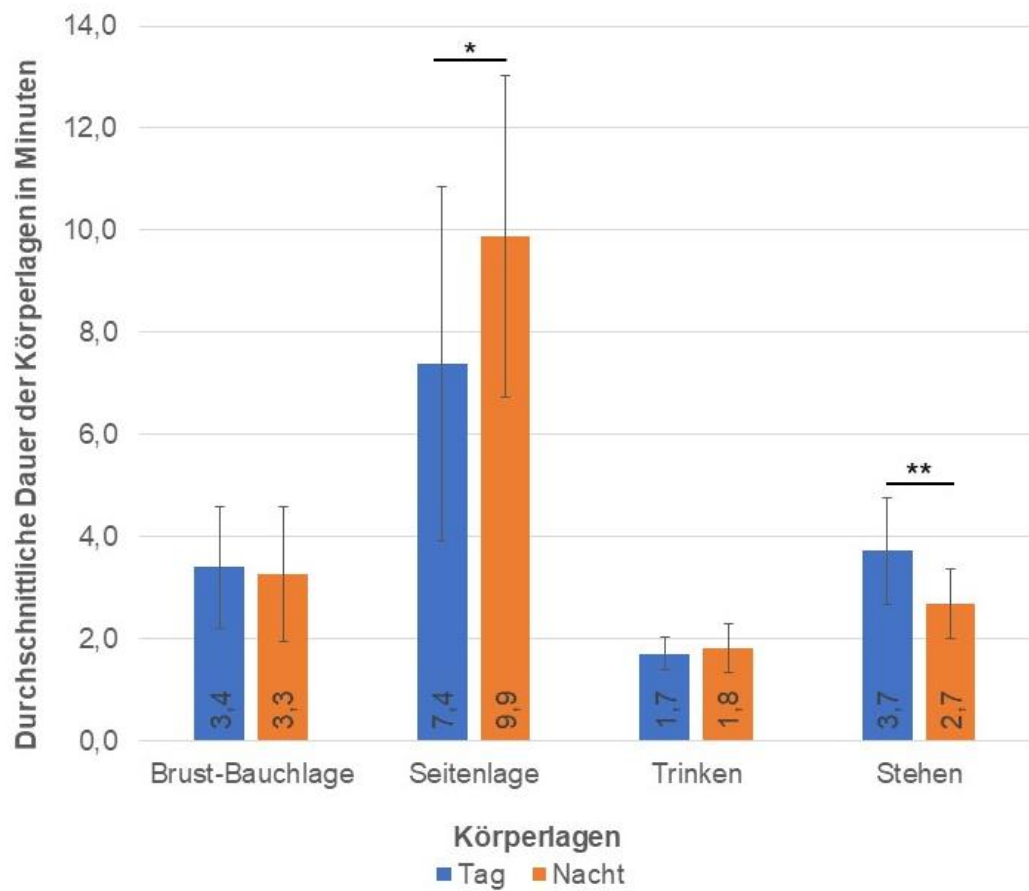


Abbildung 26: Durchschnittliche Dauer der Körperlagen im Tag-Nacht-Vergleich (* = $p = 0,002$; ** = $p < 0,001$).

Tabelle15: Durchschnittliche Dauer der jeweiligen Körperlagephasen von n = 10 Fohlen während der acht Zeitabschnitte

Zeitabschnitt		Brust- Bauch- Lage	Seitenlage	Trinken	Stehen
21-24 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,3	10,8	1,8	2,7
	Std.-Abweichung	1,3	3,4	0,5	0,6
	Minimum in Minuten	1,1	6,9	1,3	1,7
	Maximum in Minuten	5,5	16,4	2,8	3,6
0-3 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,0	9,8	1,9	2,8
	Std.-Abweichung	1,2	2,4	0,6	0,8
	Minimum in Minuten	0,8	6,4	1,3	1,8
	Maximum in Minuten	4,4	13,0	3,4	4,6
3-6 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,4	9,0	1,7	2,6
	Std.-Abweichung	1,5	3,6	0,4	0,6
	Minimum in Minuten	1,2	3,5	1,3	1,7
	Maximum in Minuten	5,8	14,3	2,5	3,5
6-9 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,7	7,0	1,6	3,7
	Std.-Abweichung	0,9	3,3	0,3	1,1
	Minimum in Minuten	2,2	3,1	1,2	2,5
	Maximum in Minuten	5,2	14,4	2,1	6,3
9-12 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,0	7,3	1,6	3,2
	Std.-Abweichung	1,0	2,6	0,3	0,6
	Minimum in Minuten	1,2	3,4	1,1	2,3
	Maximum in Minuten	4,3	11,5	2,1	4,2
12-15 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,4	8,9	1,7	3,7
	Std.-Abweichung	1,2	4,5	0,4	0,8
	Minimum in Minuten	1,4	3,1	1,3	2,7
	Maximum in Minuten	5,3	16,5	2,4	5,2
15-18 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,4	6,9	1,9	4,0
	Std.-Abweichung	1,7	2,2	0,3	1,4
	Minimum in Minuten	1,4	4,6	1,5	2,4
	Maximum in Minuten	6,7	12,7	2,3	7,4
18-21 Uhr	Mittelwert in Minuten	3,5	6,7	1,8	4,0
	Std.-Abweichung	1,0	4,4	0,4	1,1
	Minimum in Minuten	1,2	2,8	1,3	2,9
	Maximum in Minuten	5,0	17,8	2,4	6,5

Insgesamt	Mittelwert in Minuten	3,4	8,3	1,8	3,3
	Std.-Abweichung	1,2	3,5	0,4	1,0
	Minimum in Minuten	0,8	2,8	1,1	1,7
	Maximum in Minuten	6,7	17,8	3,4	7,4
Nacht	durchschnittliche Dauer des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	3,3	9,9	1,8	2,7
	Std.-Abweichung	1,3	3,1	0,5	0,7
Tag	durchschnittliche Dauer des Vigilanzstadiums pro Zeitabschnitt	3,4	7,4	1,7	3,7
	Std.-Abweichung	1,2	3,5	0,3	1,0

2.3. Häufigkeiten der Körperlagen

Des Weiteren wurden die Häufigkeiten der eingenommenen Körperlagen bestimmt. Sobald einer 30-Sekunden-Epoche eine Körperlage zugeordnet wurde, wurde diese Epoche als Beginn einer Körperlagenphase und somit als Häufigkeit gewertet. Zusammenhängende Körperlagenphasen wurden unabhängig von ihrer Länge gewertet. Sobald einer 30-Sekunden-Epoche eine andere Körperlage zugeordnet werden konnte, wurde diese als Körperlagenwechsel gewertet. In Abbildung 27 und Tabelle 16 sind die durchschnittlichen Häufigkeiten der verschiedenen Körperlagen in den jeweiligen Zeitabschnitten dargestellt.

Im Durchschnitt nahmen die Fohlen ($n = 10$) während der Gesamtmesszeit $76,5 \pm 20,8$ Mal (Min. 49,5 Mal; Max. 114 Mal) die Brust-Bauch-Lage ein. Sie legten sich durchschnittlich $53,8 \pm 15,86$ Mal (Min. 32,5 Mal; Max. 79,5 Mal) in Seitenlage nieder. Die Fohlen wechselten im Schnitt $117,0 \pm 24,2$ Mal (Min. 75 Mal; Max. 156 Mal) in die Körperlage Stehen (s. Abb. 27 und Tab. 16).

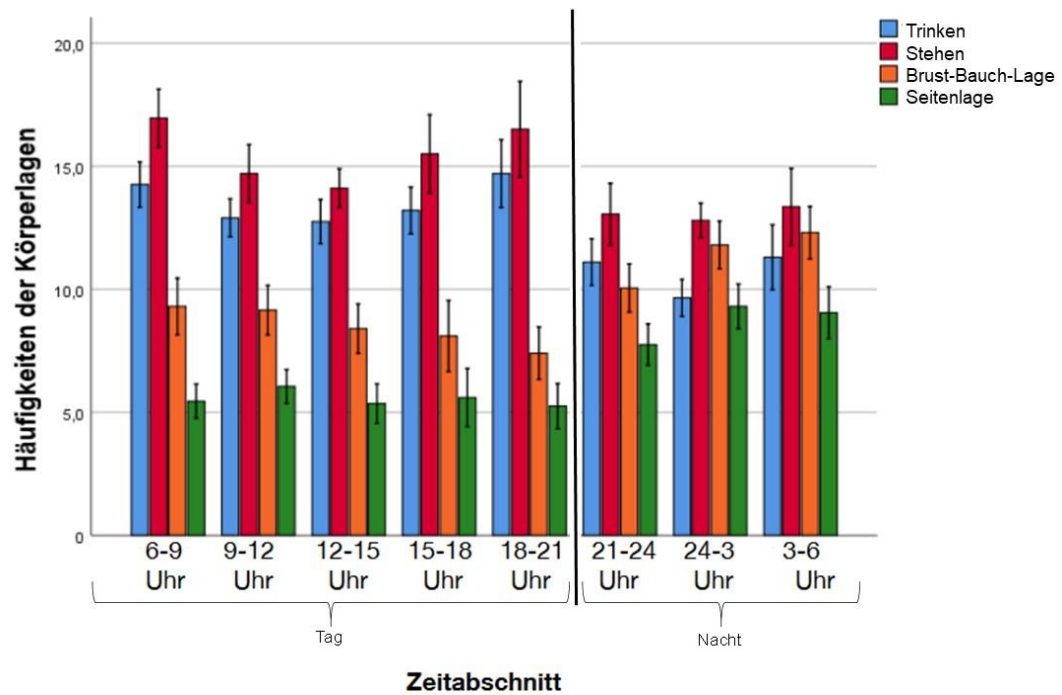


Abbildung 27: Durchschnittliche Häufigkeiten der Einnahme der jeweiligen Körperlagen von n = 10 Fohlen während der acht Zeitabschnitte

Im Tag-Nacht-Vergleich konnten innerhalb der Körperlagen Unterschiede in deren Häufigkeit festgestellt werden. So tranken die Fohlen tagsüber signifikant ($p = 0,002$) häufiger als nachts. Auch Stehphasen wurden tagsüber signifikant ($p = 0,002$) häufiger festgestellt als nachts. Dagegen konnten weder bei der Brust-Bauch-Lage ($p = 0,027$) noch bei der Seitenlage ($p = 0,643$) signifikante Unterschiede im Tag-Nacht-Vergleich in Bezug auf deren Häufigkeit beobachtet werden (s. Abb. 28).

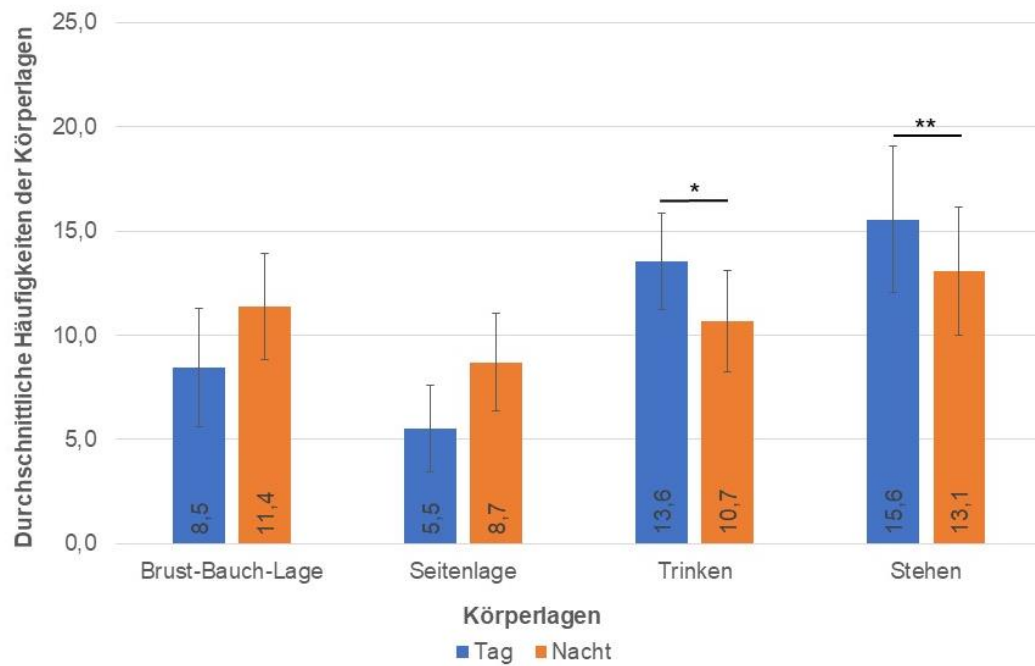


Abbildung 28: Durchschnittliche Häufigkeiten der Körperlagen im Tag-Nacht-Vergleich (*, ** = $p = 0,002$).

Tabelle 16: Häufigkeiten des Einnehmens der jeweiligen Körperlagen während der acht Zeitabschnitte von n = 10 Fohlen

Zeitabschnitt		Brust-Bauch-Lage	Seitenlage	Trinken	Stehen
6-9 Uhr	Mittelwert	8,1	5,6	13,2	15,5
	Std.-Abweichung	4,6	3,7	3	5
	Minimum	2	1,5	9,5	10,5
	Maximum	14,5	14	20	26,5
9-12 Uhr	Mittelwert	7,4	5,3	14,7	16,5
	Std.-Abweichung	3,4	2,9	4,4	6,2
	Minimum	1	1	8,5	6
	Maximum	13	12	22,5	28
12-15 Uhr	Mittelwert	10,1	7,8	11,1	13,1
	Std.-Abweichung	3,1	2,7	3	4
	Minimum	6,5	3,5	7,5	7,5
	Maximum	16	11	16	19,5
15-18 Uhr	Mittelwert	12,3	9,1	11,3	13,4
	Std.-Abweichung	3,4	3,3	4,2	4,9
	Minimum	9	4	8	6,5
	Maximum	17,5	15,5	21	24,5
18-21 Uhr	Mittelwert	9,3	5,5	14,3	17
	Std.-Abweichung	3,6	2,2	2,9	3,7
	Minimum	4,5	2	10	10,5
	Maximum	16	7,5	19	21,5
21-24 Uhr	Mittelwert	9,2	6,1	12,9	14,7
	Std.-Abweichung	3,2	2,2	2,4	3,7
	Minimum	4,5	2	9,5	10,5
	Maximum	13,5	8	18	21,5
0-3 Uhr	Mittelwert	11,8	9,3	9,7	12,8
	Std.-Abweichung	3,1	2,9	2,4	2,2
	Minimum	8,5	6	5,5	9
	Maximum	17	14	12,5	16
3-6 Uhr	Mittelwert	8,4	5,4	12,8	14,1
	Std.-Abweichung	3,2	2,5	2,9	2,5
	Minimum	4	1,5	7,5	11,5
	Maximum	12,5	9	18	18
Tag (6-21 Uhr) insgesamt	Mittelwert	42,4	27,7	67,8	77,8
	Std.-Abweichung	14,2	10,4	11,6	17,5
	Minimum	24,5	14,5	54	52
	Maximum	65	48,5	90	112,5
Tag	durchschnittliche Häufigkeit der Körperlage pro Zeitabschnitt	8,5	5,5	13,6	15,6
Nacht (21-6)	Mittelwert	34,2	26,1	32,1	39,2

Uhr) insgesamt	Std.-Abweichung	7,6	7	7,3	9,3
	Minimum	24,5	15,5	21,5	23
	Maximum	49	35	44,5	52,5
Nacht	durchschnittliche Häufigkeit der Körperlage pro Zeitabschnitt	11,4	8,7	10,7	13,1

2.4. Stehen

Signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit im Stehen verbrachten die Fohlen mit $39,2 \pm 9,5$ % tagsüber als nachts mit $20,3 \pm 6,3$ % (s. Abb. 24 und Tab. 14). Auch die Dauer der einzelnen Stehphasen war tagsüber mit $3,7 \pm 1,0$ Minuten signifikant ($p < 0,001$) länger als nachts ($2,7 \pm 0,7$ Minuten) (s. Abb. 26 sowie Tab. 15).

Am meisten Zeit im Stehen während des gesamten Tages verbrachten die Fohlen zwischen 15.00 und 18.00 Uhr mit durchschnittlich $41,5 \pm 9,8$ % der Gesamtmesszeit. Am wenigsten Zeit im Stehen konnten mit durchschnittlich $19,9 \pm 4,8$ % im Zeitabschnitt zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr beobachtet werden (s. Abb. 23 und Tab. 14).

Durchschnittlich am kürzesten dauerten die einzelnen Stehphasen im Zeitabschnitt zwischen 03.00 und 06.00 Uhr mit $2,6 \pm 0,6$ Minuten. Im Zeitabschnitt zwischen 15.00 und 18.00 Uhr dagegen war die Dauer der jeweiligen Stehphasen mit $4,0 \pm 1,5$ Minuten am längsten (s. Abb. 25 und Tab. 15).

Am häufigsten wechselten die Fohlen im Schnitt zwischen 06.00 und 09.00 Uhr in die Körperlage Stehen. In diesem Zeitabschnitt wechselten die Fohlen durchschnittlich $17,0 \pm 3,7$ Mal ins Stehen. Die wenigsten Körperlagenwechsel in die Körperlage Stehen fanden im Zeitabschnitt zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr statt. In diesem Zeitabschnitt wechselten die Fohlen mit einer Häufigkeit von $12,8 \pm 2,2$ ins Stehen. Während des Tages nahmen die Fohlen häufiger ($p = 0,002$) die Stehposition ein als nachts (s. Abb. 27 und Tab. 16).

Auffallend im Tagesverlauf ist, dass die Fohlen in dem Zeitabschnitt zwischen 06.00 Uhr und 09.00 Uhr signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit mit Stehen verbrachten als im Zeitabschnitt zwischen 03.00 Uhr und 06.00 Uhr. Im Vergleich der Zeitabschnitte 06.00-09.00 Uhr und 09.00-12.00 Uhr konnte kein signifikanter ($p = 0,668$) Unterschied des prozentualen Anteiles des Stehens an der

Gesamtmesszeit erkannt werden (s. Abb. 29).

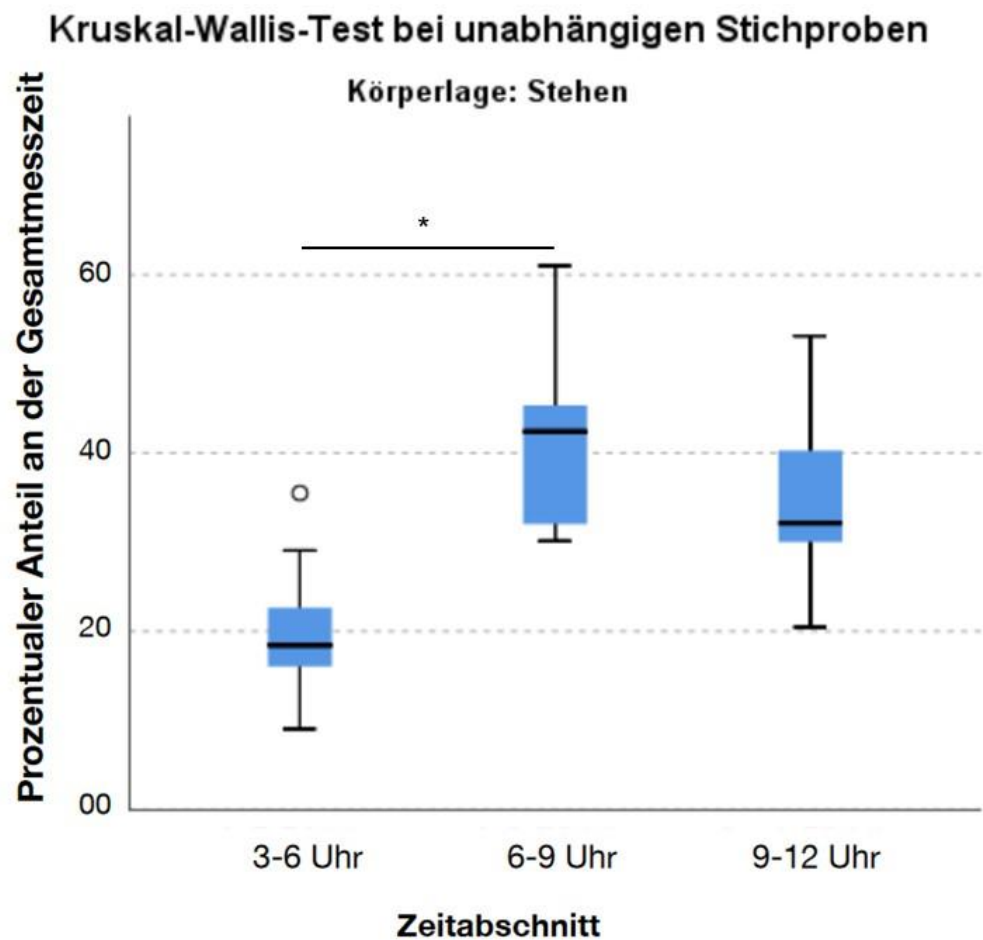


Abbildung 29: Prozentualer Anteil der Körperlage "Stehen" an der Gesamtmesszeit in den Zeitabschnitten 03.00-06.00 Uhr, 06.00-09.00 Uhr und 09.00 bis 12.00 Uhr (* = $p < 0,001$)

Auch erfolgte ein deutlicher ($p = 0,003$) Abfall des durchschnittlichen prozentualen Anteils der Stehzeit im Vergleich der Zeitabschnitte 18.00 Uhr bis 21.00 Uhr (42,6 % der Gesamtmesszeit) zum darauffolgenden Zeitabschnitt von 21.00 Uhr bis 24.00 Uhr (20,7 % der Gesamtmesszeit) (s. Abb. 30).

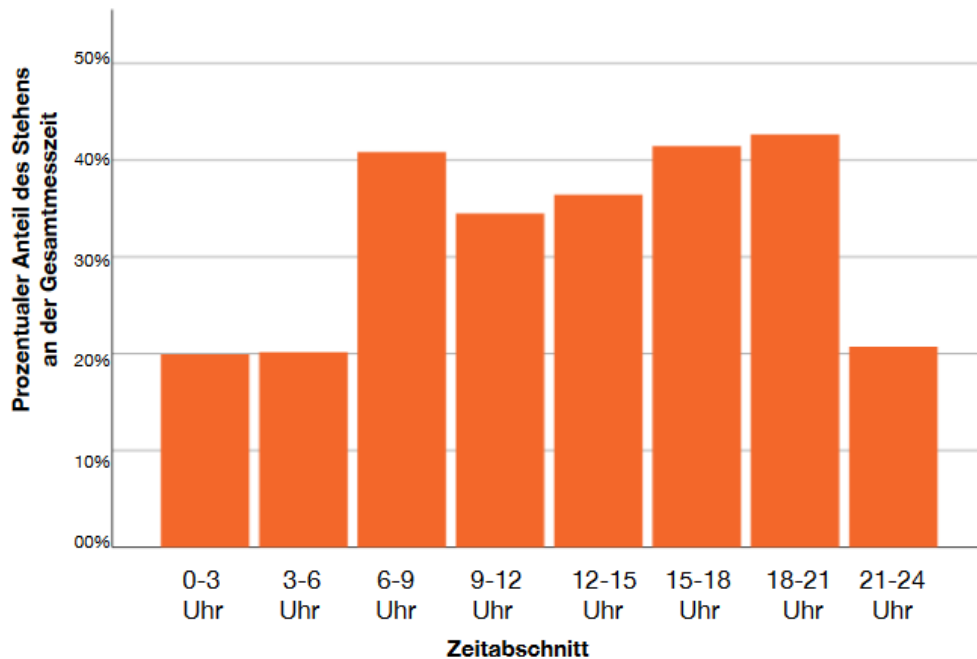


Abbildung 30: Prozentualer Anteil der Körperlage "Stehen" von n = 10 Fohlen im Tagesverlauf, unterteilt in acht Zeitabschnitte zu je drei Stunden

2.5. Brust-Bauch-Lage

Als Brust-Bauch-Lage wurde bezeichnet, wenn das Fohlen mit dem Bauch und der Unterbrust auf dem Boden lag. Der Kopf wurde getragen oder auf dem Kinn aufgestützt. Die Vordergliedmaßen waren meist unter dem Körper angewinkelt, zum Teil aber auch ausgestreckt. Auch die Hintergliedmaßen waren meist unter den Körper gezogen.

Durchschnittlich verbrachten die Fohlen tagsüber $18,5 \pm 7,4$ % der Gesamtmesszeit in Brust-Bauch-Lage und $20,9 \pm 7,6$ % der Gesamtmesszeit während der Nacht. Es konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten ($p = 0,173$) Unterschiede des durchschnittlichen prozentualen Anteils der Liegezeit in Brust-Bauch-Lage festgestellt werden (s. Abb. 24). Im 24-Stundenverlauf konnte keine signifikante ($p = 0,043$; $\rho = -0,227$) Korrelation im prozentualen Anteil der Brust-Bauch-Lage an der Gesamtmesszeit festgestellt werden (s. Abb. 31). Die durchschnittliche Dauer der einzelnen Liegephasen betrug tagsüber $3,4 \pm 1,8$ Minuten und nachts $3,3 \pm 1,3$ Minuten. Auch in der Dauer der jeweiligen Liegephasen in Brust-Bauch-Lage konnten im Tag-Nacht-Vergleich keine signifikanten ($p = 0,647$) Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 26).

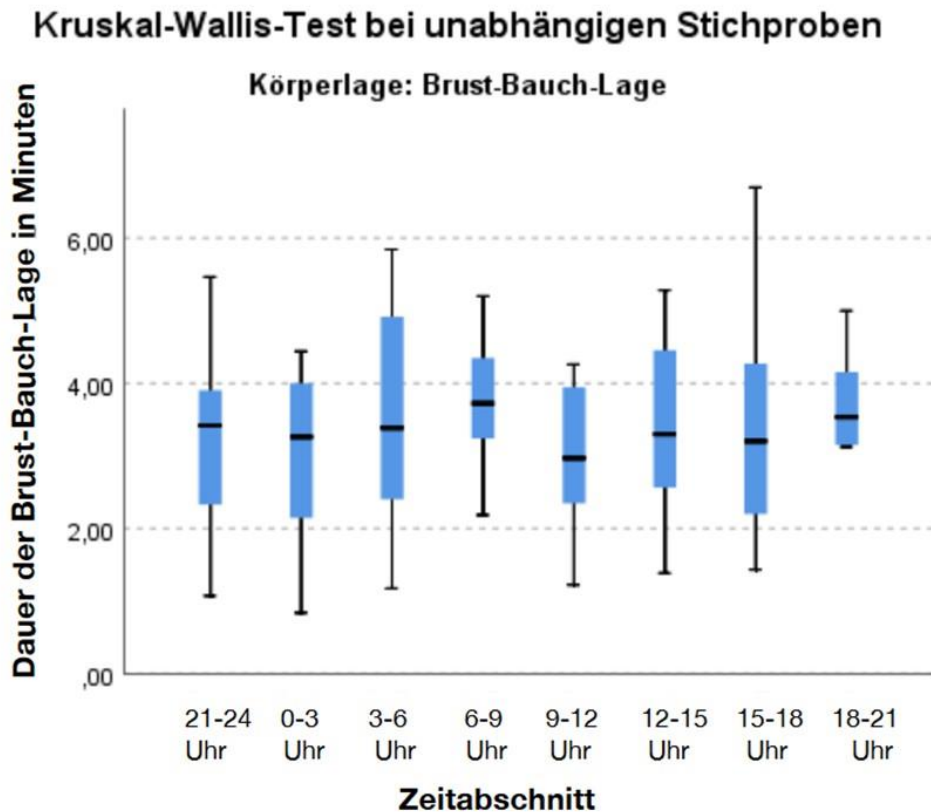


Abbildung 31: Durchschnittliche Dauer der Brust-Bauch-Lagephasen von n = 10 Fohlen über den Tagesverlauf, unterteilt in acht Zeitabschnitte zu jeweils drei Stunden

Durchschnittlich die meiste Zeit in Brust-Bauch-Lage wurde im Zeitabschnitt zwischen 03.00 und 06.00 Uhr mit $23,2 \pm 7,4$ % verbracht. Der geringste Anteil der Brust-Bauch-Lage im Tagesverlauf wurde mit durchschnittlich $15,6 \pm 5,2$ % im Zeitabschnitt zwischen 18.00 und 21.00 Uhr verbracht (s. Abb. 23 und Tab. 14).

Im gesamten Tagesverlauf dauerten die einzelnen Liegephasen in Brust-Bauch-Lage zwischen 06.00 und 09.00 Uhr mit durchschnittlich $3,7 \pm 0,9$ Minuten am längsten. Am kürzesten waren die jeweiligen Liegephasen in Brust-Bauch-Lage mit $3,0 \pm 1,0$ Minuten zwischen 09.00 und 12.00 Uhr (s. Abb. 25 und Tab. 15).

Durchschnittlich am häufigsten legten sich die Fohlen im Zeitraum von 03.00 bis 06.00 Uhr mit $12,3 \pm 3,4$ Mal (Min. 9,0 Mal; Max. 17,5 Mal) nieder. Zwischen 18.00 und 21.00 Uhr legten sich die Fohlen im Schnitt nur $7,4 \pm 3,4$ Mal in Brust-Bauch-Lage ab. Dies war im 24-Stundenverlauf die geringste Anzahl an Ablegevorgängen in Brust-Bauch-Lage (s. Abb. 27 und Tab. 16). Es konnte kein Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens der Brust-Bauch-Lage im Tag-Nacht-Vergleich erkannt werden ($p = 0,027$) (s. Abb. 28).

2.6. Seitenlage

Wenn die Fohlen flach auf der Seite lagen, alle Extremitäten vom Körper weggestreckt waren und auch der Kopf auf dem Boden lag, wurde die Körperlage als Seitenlage bezeichnet. Während der Nacht verbrachten die Fohlen durchschnittlich signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit im Liegen ($47,4 \pm 13,0$ % der Gesamtmesszeit) als tagsüber ($25,5 \pm 12,1$ % der Gesamtmesszeit) (s. Abb. 22). Auch die Dauer der einzelnen Seitenlagephasen war nachts mit durchschnittlich $9,9 \pm 3,2$ Minuten signifikant ($p = 0,002$) länger als tagsüber (durchschnittliche Länge $7,4 \pm 3,5$ Minuten) (s. Abb. 26). Die Dauer der jeweiligen Seitenlagephasen korrelierte signifikant ($p < 0,001$) mit der Tageszeit. So wurde im Zeitabschnitt zwischen 21.00 und 24.00 Uhr die maximale Länge der einzelnen Seitenlagephasen erreicht, welche über den Tag hinweg abnahm, sodass im Zeitabschnitt zwischen 18.00 und 21.00 Uhr die durchschnittlich kürzeste Dauer der Seitenlagephasen im Tagesverlauf erreicht wurde (s. Abb. 32).

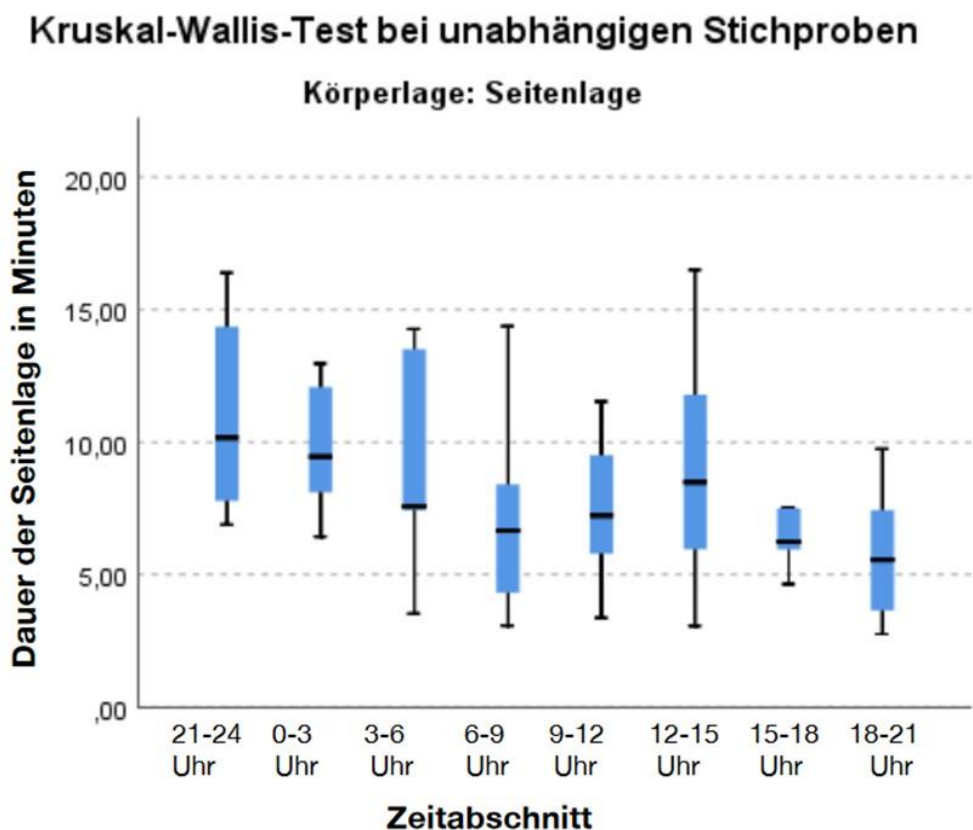


Abbildung 32: Durchschnittliche Dauer der Seitenlagephasen während der acht Zeitabschnitte (n = 10 Fohlen)

Der größte Anteil in Seitenlage wurde durchschnittlich zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr mit $49,7 \pm 11,3$ % der Gesamtmesszeit verbracht. Den geringsten

Anteil in Seitenlage im 24-Stundenverlauf zeigten die Fohlen zwischen 06.00 und 09.00 Uhr mit durchschnittlich $22,4 \pm 9,2$ % der Gesamtmesszeit (s. Abb. 23).

Die einzelnen Liegephasen in Seitenlage dauerten mit durchschnittlich $6,8 \pm 4,4$ Minuten im Tagesverlauf am kürzesten zwischen 18.00 und 21.00 Uhr. In dem darauffolgenden Zeitabschnitt zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht dauerten die jeweiligen Liegephasen in Seitenlage mit $10,8 \pm 3,4$ Minuten am längsten (s. Abb. 25 und Tab. 15).

Im Schnitt legten sich die Fohlen im 48-Stundenverlauf $108,0 \pm 15,6$ Mal in Seitenlage ab. Durchschnittlich am häufigsten legten sich die Fohlen mit $9,9 \pm 2,9$ Mal (Min. 6 Mal; Max. 14 Mal) in den Zeiträumen zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr nieder. Mit im Mittel $5,3 \pm 2,9$ Mal legten sich die Fohlen im Abschnitt 18.00 bis 21.00 Uhr am wenigsten in Seitenlage ab (s. Abb. 27 und Tab. 13). Im Vergleich von Tag und Nacht in Bezug auf die Häufigkeit des Niederlegens in Seitenlage konnte kein Unterschied ($p = 0,643$) festgestellt werden (s. Abb. 28).

Auffallend bei der Betrachtung des 24-Stundenverlaufs ist eine Korrelation ($\rho: -0,562$; $p < 0,001$) des prozentualen Anteils der Seitenlage an der Gesamtmesszeit. Dieser ist in der Nacht größer ($p < 0,001$) als tagsüber und wird im Tagesverlauf immer geringer, bis er ab 21.00 Uhr (Beginn der Nacht) deutlich ansteigt (s. Abb. 33).

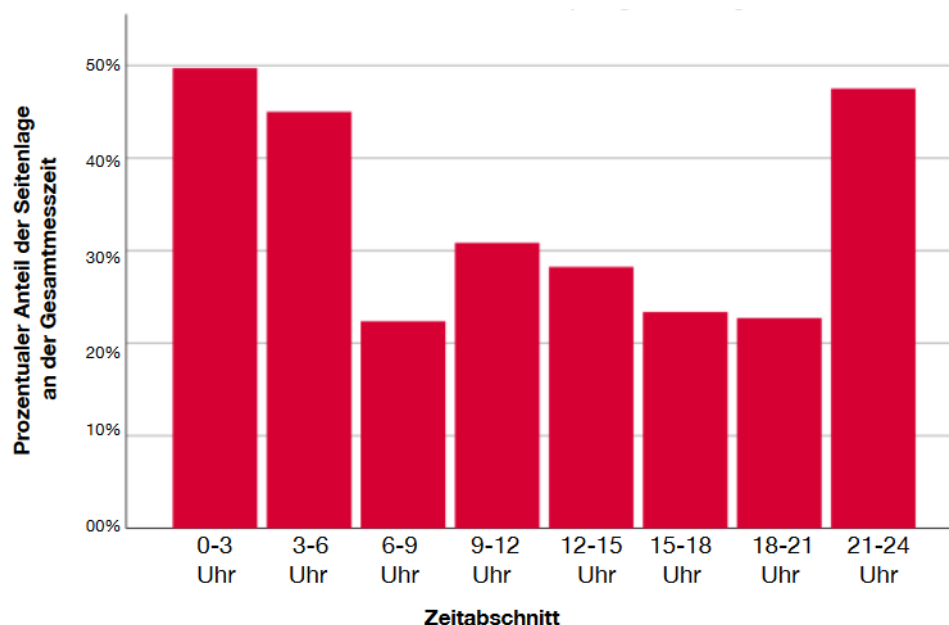


Abbildung 33: Prozentualer Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit von $n = 10$ Fohlen im Tagesverlauf, unterteilt in acht je drei Stunden dauernde Zeitabschnitte

Im Zeitabschnitt zwischen 06.00 und 09.00 Uhr war der prozentuale Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit deutlich geringer ($p = 0,005$) als im Zeitabschnitt zwischen 03.00 und 06.00 Uhr. Weder im Vergleich des prozentualen Anteils an der Gesamtmesszeit zwischen den Zeitabschnitten 03.00 bis 06.00 Uhr mit 09.00-12.00 Uhr ($p = 0,252$), noch im Vergleich der Zeitabschnitte 06.00-09.00 Uhr mit 09.00-12.00 Uhr ($p = 0,465$) konnten signifikante Unterschiede im prozentualen Anteil in Seitenlage an der Gesamtmesszeit festgestellt werden (s. Abb. 34).

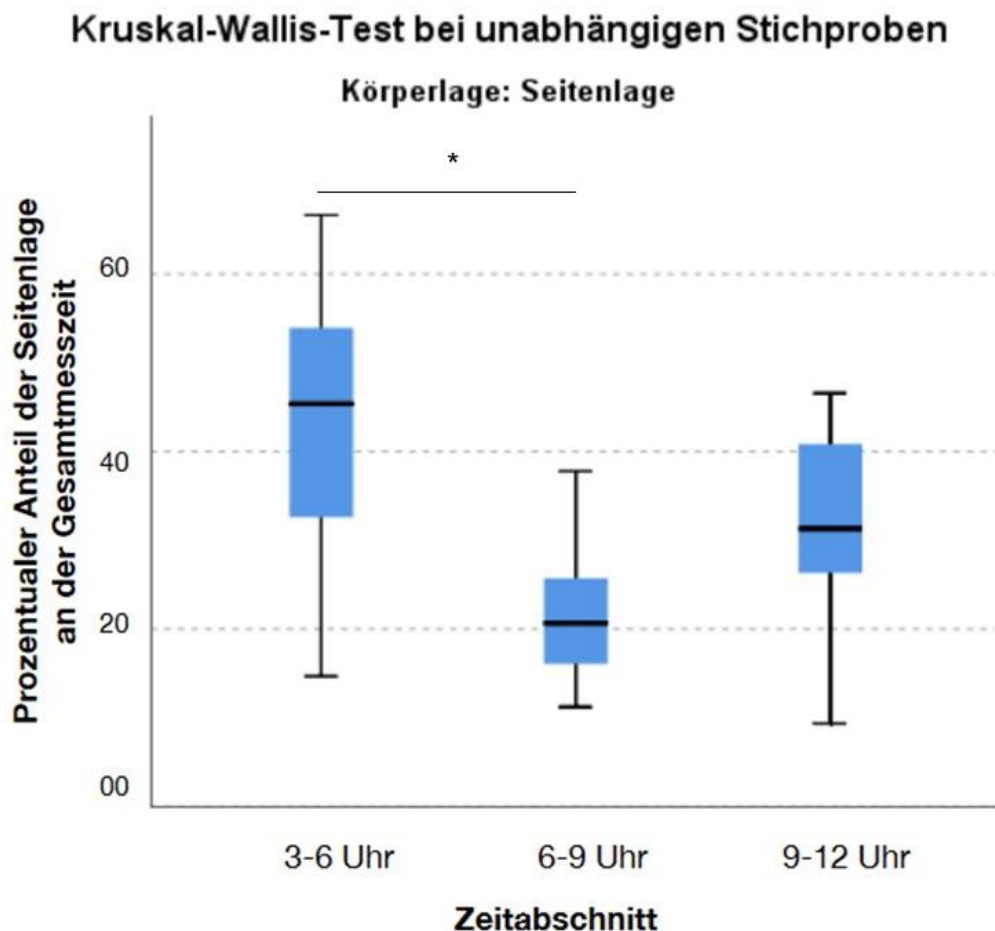


Abbildung 34: Prozentualer Anteil der Seitenlage an der Gesamtmesszeit im Vergleich der Zeitabschnitte 03.00-06.00 Uhr, 06.00-09.00 Uhr und 09.00 bis 12.00 Uhr (* = $p < 0,001$)

2.7. Liegeverhalten der Mutterstuten

Neben dem Liegeverhalten der Fohlen wurde auch das Liegeverhalten der Mutterstuten während der 48-stündigen polysomnographischen Messungen der Fohlen mithilfe der Videoaufzeichnungen beobachtet (s. Abb. 35)

Insgesamt zeigten die Stuten 42 Liegeperioden. Im Schnitt legte sich jede Stute

4,4 ± 3,2 Mal (Min. 0 Mal; Max. 12,0 Mal) nieder. Die durchschnittliche Dauer einer Liegephase betrug 7,9 ± 8,2 Minuten (Min. 1,0 Minute; Max. 38,5 Minuten). Der Großteil der Liegephasen fand mit 39,5 % in der Zeit zwischen 03.00 und 06.00 Uhr statt. 27,9 % der Liegephasen erfolgten zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr, und 9,3 % ereigneten sich zwischen 21.00 und 24.00 Uhr. So fanden 76,8 % der Liegephasen nachts statt. Tagsüber erfolgten 11,6 % der Liegephasen zwischen 09.00 und 12.00 Uhr, 7,0 % zwischen 06.00 und 09.00 Uhr und 4,7 % zwischen 12.00 und 15.00 Uhr.

Die Gesamtliegezeit (GLZ) aller Stuten innerhalb von 48 Stunden in der hier vorliegenden Studie betrug 332,5 Minuten. Der größte Anteil der Gesamtliegezeit mit 48,4 % wurde zwischen 03.00 und 06.00 Uhr verbracht, 35,0 % der Gesamtliegezeit verbrachten die Stuten zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr und 6,9 % der GLZ wurden zwischen 21.00 und 00.00 Uhr verbracht. Somit wurden 90,4 % der Gesamtliegezeit nachts vollbracht. Die restlichen Anteile der GLZ verteilten sich mit 7,1 % auf den Zeitabschnitt zwischen 09.00 und 12.00 Uhr, zu 1,7 % der Zeit auf den Zeitabschnitt zwischen 06.00 und 09.00 Uhr und zu 0,9 % zwischen 12.00 und 15.00 Uhr.

Während der beobachteten Zeit legten sich drei der zehn Mütter überhaupt nicht nieder. Bei den anderen sieben Stuten konnten zwischen einer und zwölf Liegephasen beobachtet werden. Bei nur einer Stute konnte das Liegen in Seitenlage festgestellt werden, wobei diese Seitenlage nur 1,5 Minuten andauerte. Die Verteilung der Liegephasen in Abhängigkeit von den gemessenen Tagen verteilte sich gleichmäßig auf Tag zwei und Tag drei (21/42 Liegephasen an Tag zwei; 20/42 Liegephasen an Tag drei). An Tag eins konnte nur eine Liegephase bei einer Mutterstute beobachtet werden.



Abbildung 35: Die Mutterstute liegt in Brust-Bauch-Lage, das Fohlen in Seitenlage

2.7.1. Verhalten der Fohlen während der Liegephasen der Mütter

In allen Fällen legten sich die Stuten erst nieder, wenn das Fohlen bereits lag. In manchen Fällen schreckten die Fohlen durch das Ablegen der Mütter hoch. Oftmals beendeten die Fohlen ihre Liegevorgänge vor ihren Müttern und versuchten teilweise bei ihren Müttern zu saugen, obwohl diese noch lagen (s. Abb. 36).



Abbildung 36: Versuch eines Fohlens am Euter der liegenden Mutter zu saugen

3. Abhängigkeit zwischen Schlafstadien und Körperlagen

3.1. Anteil der vier Vigilanzstadien während der verschiedenen Körperlagen

Die Vigilanzstadien Wach und Leichtschlaf konnten in jeder der vier Körperlagen beobachtet werden. Der tatsächliche REM-Schlaf fand nur in Brust-Bauch-Lage und Seitenlage statt. In Abbildung 37 ist der prozentuale Anteil der Vigilanzstadien an den Körperlagen aufgezeigt. Die Zahlenwerte dazu sind in Tabelle 17 angegeben.

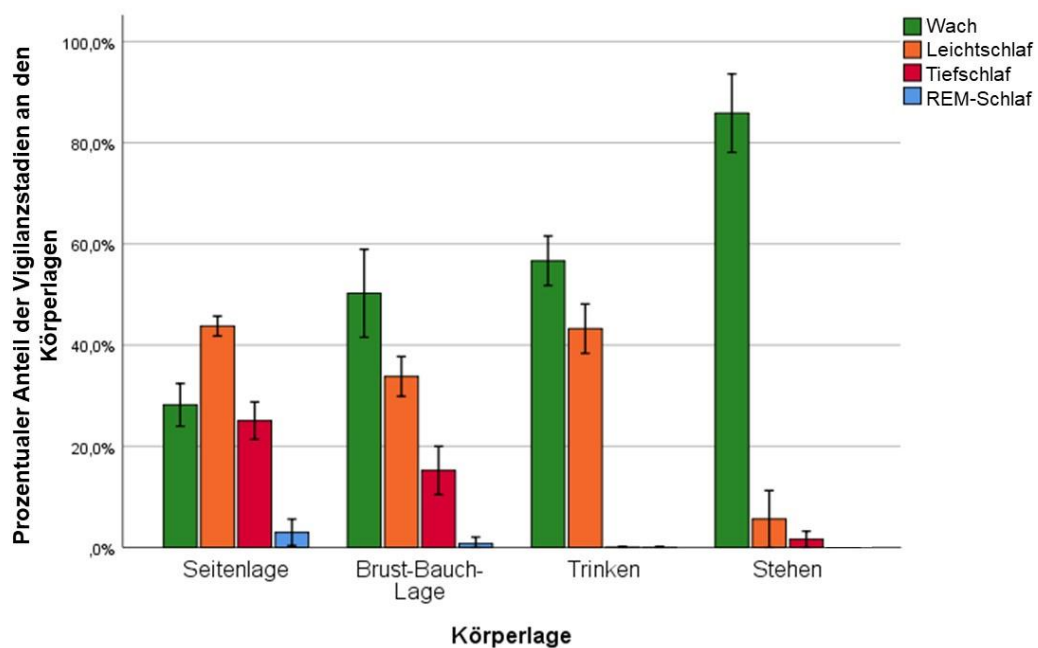


Abbildung 37: Verteilung der Schlafstadien während der unterschiedlichen Körperlagen von n = 10 Fohlen

Tabelle 17: Prozentualer Anteil der jeweiligen Vigilanzstadien an den einzelnen Körperlagen von n = 10 Fohlen

Körperlage		Wach in %	Leichtschlaf in %	Tiefschlaf in %	REM-Schlaf in %
Seitenlage	Mittelwert	28,2	43,8	25,1	3,0
	Std.- Abweichung	4,2	2,0	3,7	2,6
	Minimum	21,1	41,7	18,9	0,0
	Maximum	33,3	47,2	32,3	9,1
Brust- Bauch- Lage	Mittelwert	50,2	33,8	15,2	0,8
	Std.- Abweichung	8,7	3,9	4,8	1,3
	Minimum	38,9	26,2	5,2	0,0
	Maximum	68,5	38,0	23,0	3,4
Trinken	Mittelwert	56,7	43,2	0,1	0,0
	Std.- Abweichung	4,9	4,9	0,1	0,1
	Minimum	51,4	33,5	0,0	0,0
	Maximum	66,5	48,6	0,3	0,3
Stehen	Mittelwert	85,8	5,6	1,6	6,9
	Std.- Abweichung	7,7	5,6	1,6	3,5
	Minimum	71,7	0,0	0,0	1,7
	Maximum	95,0	16,8	4,6	12,9

3.1.1. Seitenlage

Die durchschnittliche Verteilung der vier Vigilanzstadien in Seitenlage setzt sich wie folgt zusammen: Der Hauptanteil der Seitenlage mit $43,8 \pm 2,0$ % wurde mit Leichtschlaf verbracht, $28,2 \pm 4,2$ % der Seitenlage wurde im Wachzustand verbracht, $25,1 \pm 3,7$ % der Seitenlage wurde im Tiefschlaf verbracht und der geringste Anteil mit $3,0 \pm 2,6$ % wurde im REM-Schlaf verbracht (s. Abb. 37 und Tab. 17).

Während des Liegens in Seitenlage wurde signifikant mehr Zeit im Leichtschlaf als im REM-Schlaf ($p < 0,001$), als im Tiefschlaf ($p = 0,006$) und als im Wachzustand ($p = 0,015$) verbracht. Außerdem wurde signifikant ($p = 0,006$) mehr Zeit im Wachzustand als im REM-Schlaf und signifikant ($p = 0,015$) mehr

Zeit im Tiefschlaf als im REM-Schlaf verbracht. Im Vergleich des Anteils des Wachzustandes und des Tiefschlafs an der Seitenlage konnten kein signifikanter ($p = 0,729$) Unterschied festgestellt werden (s. Abb. 38 und Tab. 17).

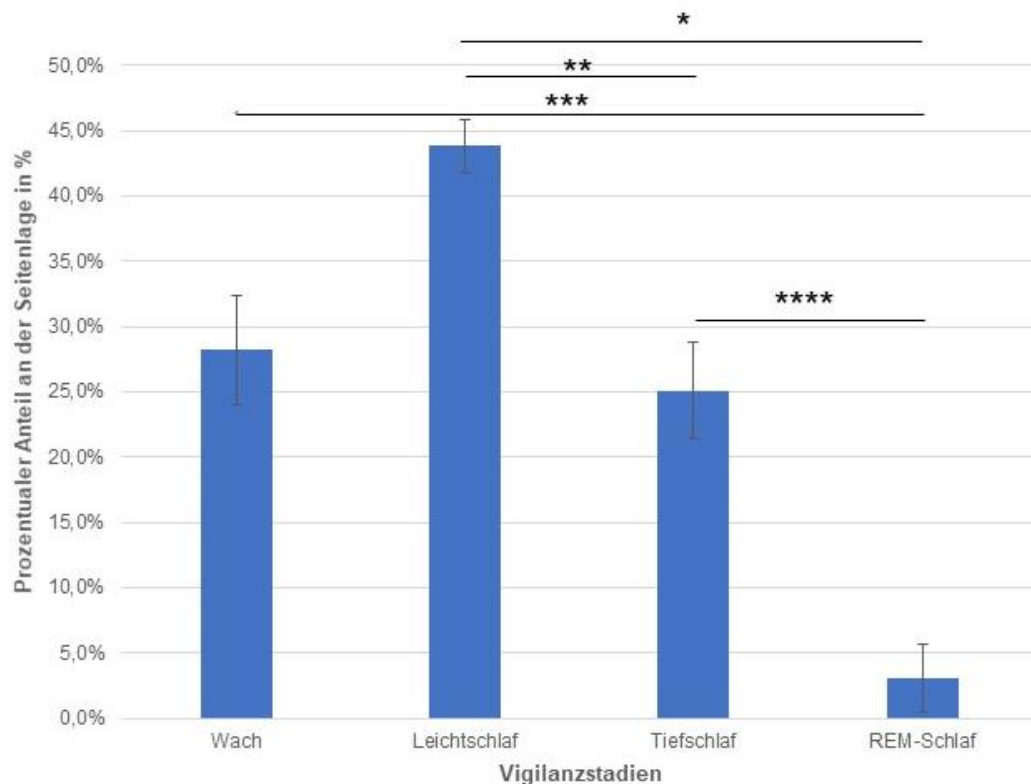


Abbildung 38: Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Vigilanzstadien an der Seitenlage in Prozent (* = $p < 0,001$; **, * = $p = 0,006$; **** = $p = 0,015$).**

3.1.1.1. Interindividuelle Unterschiede

Alle zehn gemessenen Fohlen verbrachten den größten Teil der in Seitenlage verbrachten Zeit im Leichtschlaf, am zweithäufigsten waren alle Fohlen während der Seitenlage wach. Auch zeigten alle Fohlen Tiefschlaf während sie in Seitenlage lagen.

Bei einem Fohlen („Be Invitings Vivian“ (Fohlen Nr. 1)) konnte während der Seitenlage kein REM-Schlaf festgestellt werden. Auch zeigte „Be Invitings Vivian“ den geringsten Anteil an Leichtschlaf in Seitenlage (41,7 %), dafür aber den höchsten Anteil an Tiefschlaf (32,3 %). Ein anderes Fohlen („Mael“ (Fohlen Nr. 4)) zeigte nur in 0,4 % der Zeit, welche in Seitenlage verbracht wurde, REM-Schlaf. Mehr als doppelt so viel Zeit wie die anderen Fohlen verbrachte „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3) während des Liegens in Seitenlage im REM-Schlaf (9,1 %). Dagegen war dieses Fohlen im Vergleich mit den anderen Fohlen während der Zeit, die es in Seitenlage verbrachte, deutlich weniger wach (21,1 %). Verhältnismäßig wenig Zeit verbrachte „Glide Chip“ (Fohlen Nr. 2) mit 18,9 % der

Liegezeit in Seitenlage im Tiefschlaf, dafür zeigte dieses Fohlen den mit 33,3 % den höchsten Wachanteil während des Liegens in Seitenlage.

3.1.2. Brust-Bauch-Lage

Durchschnittlich $50,2 \pm 8,7$ % der Liegezeit in Brust-Bauch-Lage wurde im Wachzustand verbracht. $33,8 \pm 3,9$ % der Zeit, die in Brust-Bauch-Lage verbracht wurde, fand im Leichtschlaf statt. Vom Tiefschlaf wurden $15,2 \pm 4,8$ % der Zeit, die in Brust-Bauch-Lage verbracht wurde, eingenommen. $0,8 \pm 1,3$ % der Brust-Bauch-Lage wurde im REM-Schlaf verbracht (s. Abb. 37 und Tab. 17).

Während des Liegens in Brust-Bauch-Lage wurde mehr Zeit im Wachzustand verbracht als im Tiefschlaf ($p = 0,003$) und als im REM-Schlaf ($p < 0,001$). Allerdings konnte zwischen den Anteilen der Vigilanzstadien Wach und Leichtschlaf an der Brust-Bauch-Lage kein signifikanter ($p = 0,5$) Unterschied festgestellt werden. Außerdem wurde signifikant ($p = 0,003$) mehr Zeit der Brust-Bauch-Lage im Leichtschlaf als im REM-Schlaf verbracht. Weder im Vergleich von REM-Schlaf zu Tiefschlaf ($p = 0,5$) noch im Vergleich von Tiefschlaf zu Leichtschlaf ($p = 0,5$) konnten signifikante Unterschiede an deren Anteil an der Brust-Bauch-Lage festgestellt werden.

3.1.2.1. Interindividuelle Unterschiede

Alle Fohlen verbrachten den größten prozentualen Anteil der Zeit, in der sie in Brust-Bauch-Lage lagen, im Wachzustand, gefolgt von Leichtschlaf und Tiefschlaf. Sechs der zehn Fohlen zeigten in Brust-Bauch-Lage keinen REM-Schlaf. Die prozentual meiste Zeit im REM-Schlaf während der Brust-Bauch-Lage verbrachte „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3) mit 3,4 %. Deutlich am wenigsten Zeit, sowohl im Leichtschlaf (26,2 %), als auch im Tiefschlaf (5,2 %), im Vergleich zu den anderen Fohlen, verbrachte „Glide Chip“ (Fohlen Nr. 2). Dagegen war dieses Fohlen mit 68,5 % der Zeit während der Seitenlage am meisten wach. Im Gegensatz dazu war „Don Perignon“ (Fohlen Nr. 8) im Vergleich zu den anderen Fohlen mit 38,9 % der Zeit während der Seitenlage am wenigsten wach und verbrachte mit 38,0 % im Vergleich zu den anderen Fohlen den größten prozentualen Anteil im Leichtschlaf während er auf der Seite lag.

3.1.3. Trinken

Durchschnittlich $56,7 \pm 4,9$ % der Zeit, welche mit Trinken verbracht wurde, waren die Fohlen wach. In $43,2 \pm 4,9$ % der Trinkzeit konnte Leichtschlaf festgestellt werden. $0,1 \pm 0,1$ % der Trinkzeit wurden im Tiefschlaf verbracht. REM-Schlafartige Gehirnströme konnten während des Trinkvorganges mit

0,1 ± 0,1 % gemessen werden (s. Abb. 37 und Tab. 17).

Während des Trinkens konnte kein signifikanter ($p = 0,5$) Unterschied der prozentualen Anteile der Vigilanzstadien Wach und Leichtschlaf festgestellt werden.

3.1.3.1. Interindividuelle Unterschiede

Alle Fohlen zeigten während des Trinkens einen etwas höheren Anteil an Wachphasen als an Leichtschlafphasen, wie oben beschrieben. Bei zwei der zehn Fohlen („Lilli“ (Fohlen Nr. 10) und „Bruno“ (Fohlen Nr. 9) konnten sehr vereinzelt (0,2 % und 0,3 %) tiefschlafähnliche Gehirnströme während des Saugaktes festgestellt werden. Ebenso konnten bei zwei Fohlen („Lilli“ (Fohlen Nr.10) und „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3)) nur wenige (0,2 % und 0,3 %) REM-schlafartige Gehirnströme während des Saugaktes gemessen werden.

3.1.4. Stehen

Die Fohlen waren durchschnittlich $85,8 \pm 7,7$ % der Zeit, die sie standen, wach. $5,6 \pm 5,6$ % des Stehens verbrachten sie im Leichtschlaf und $1,6 \pm 1,6$ % im Tiefschlaf. Während $7,0 \pm 3,5$ % der Zeit, die die Fohlen stehend verbrachten, konnten REM-Schlafartige Gehirnströme festgestellt werden (s. Abb. 37 und Tab. 17). Diese wurden immer dann gemessen, wenn die Fohlen urinierten oder Kot absetzten.

Während des Stehens wurde mehr Zeit im Wachzustand als im Leichtschlaf ($p < 0,003$), als im Tiefschlaf ($p < 0,001$) und als im REM-Schlaf ($p = 0,015$) verbracht. Im Vergleich der anderen Vigilanzstadien untereinander konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

3.1.4.1. Interindividuelle Unterschiede

Jedes der zehn Fohlen verbrachte deutlich am meisten Zeit der Stehphasen im Wachzustand. Acht der zehn Fohlen zeigten im Stehen Leichtschlafphasen, die anderen zwei Fohlen („Finest Little Romeo“ (Fohlen Nr. 5) und „Glide Chip“ (Fohlen Nr. 2)) zeigten keinen Leichtschlaf während des Stehens. Zwei andere Fohlen („Cidre Cup“ (Fohlen Nr. 7) und „Feu Susa“ (Fohlen Nr. 3)) zeigten im Gegensatz zu den anderen acht Fohlen während des Stehens keinen Tiefschlaf. REM-Schlafartige Gehirnströme konnten bei allen Fohlen während des Kotabsatzes und Urinierens beobachtet werden. Die meiste Zeit im Wachzustand während des Stehens verbrachte „Cidre Cup“ (Fohlen Nr. 7) mit 95,0 %. Am wenigsten Zeit im Wachzustand im Vergleich zu den anderen Fohlen verbrachte „Don Perignon“ (Fohlen Nr. 8) mit 71,7 %. Bei diesem Fohlen wurden auch die

größten Anteile an Leichtschlaf mit 16,8 % und an Tiefschlaf mit 4,6 % während der Stehphasen im Vergleich zu den anderen Fohlen gemessen.

3.2. Anteil der Körperlagen während der vier Vigilanzstadien

Sowohl der Wachzustand als auch der Leichtschlaf konnten in allen vier Körperlagen (Stehen, Saugen, Brust-Bauch-Lage und Seitenlage) stattfinden. Weder der Tiefschlaf noch der REM-Schlaf konnte während des Trinkens beobachtet werden (s. Abb. 39 und Tab. 18).

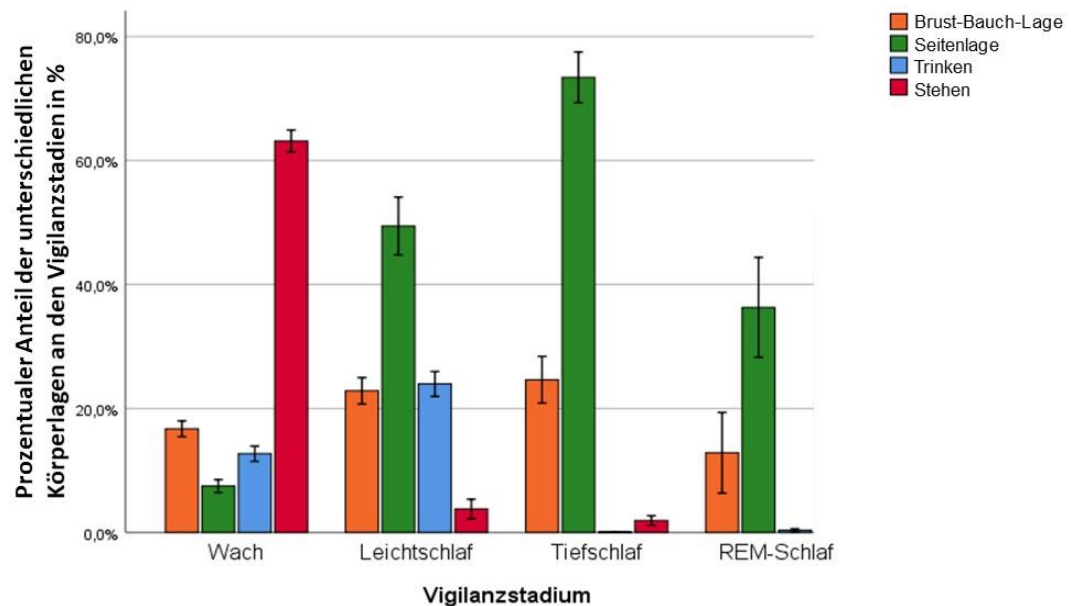


Abbildung 39: Prozentualer Anteil der verschiedenen Körperlagen an den einzelnen Vigilanzstadien von n = 10 Fohlen

Tabelle18: Zahlenangaben zu den Anteilen der verschiedenen Körperlagen an den einzelnen Vigilanzstadien von n = 10 Fohlen

Schlafstadium		Brust-Bauch-Lage in %	Seitenlage in %	Trinken in %	Stehen in %
Wach	Mittelwert	16,7	7,5	12,7	63,1
	Std.-Abweichung	4,0	3,3	3,9	5,6
	Minimum	11,1	1,8	7,2	52,6
	Maximum	25,4	13,5	17,9	73,1
Leichtschlaf	Mittelwert	22,8	49,4	23,9	3,8
	Std.-Abweichung	6,7	14,8	6,4	5,0
	Minimum	8,6	21,3	16,4	0,0
	Maximum	29,6	74,0	35,1	14,2
Tiefschlaf	Mittelwert	24,6	73,4	0,0	1,9
	Std.-Abweichung	11,9	12,9	0,1	2,5
	Minimum	3,3	54,8	0,0	0,0
	Maximum	42,1	96,7	0,3	6,2
REM-Schlaf	Mittelwert	12,8	36,3	0,3	50,5
	Std.-Abweichung	20,6	25,5	0,8	24,2
	Minimum	0,0	0,0	0,0	27,8
	Maximum	64,8	70,6	2,6	100,0

3.2.1. Wachzustand

Mit durchschnittlich $63,1 \pm 5,6$ % (Min. 52,6 %; Max. 73,1 %) des Wachzustandes wurde am meisten Zeit im Stehen verbracht. Insgesamt befanden sich die Fohlen durchschnittlich $16,7 \pm 4,0$ % des Wachzustandes in Brust-Bauch-Lage. $12,7 \pm 3,9$ % (Min. 7,2 %; Max. 17,9 %) des Vigilanzstadiums Wach wurden saugend verbracht. Am wenigsten Zeit des Wachzustandes mit $7,5 \pm 3,3$ % (Min. 1,8 %; Max. 13,5 %) verweilten die Fohlen in Seitenlage (s. Abb. 39 und Tab. 18).

Während des Vigilanzstadiums Wach wurde signifikant mehr Zeit im Stehen als in Seitenlage ($p < 0,001$) oder Brust-Bauch-Lage ($p = 0,004$) verbracht. Im Vergleich der Anteile der Körperlagen Stehen und Trinken an der Gesamtzeit die wach verbracht wurde, konnten keine signifikanten ($p = 0,112$) Unterschiede

festgestellt werden. Während des Wachzustandes wurde signifikant ($p = 0,004$) mehr Zeit mit Trinken als im Tiefschlaf verbracht. Bei den Anteilen der Brust-Bauch-Lage und der Seitenlage am Vigilanzstadium Wach konnten keine signifikanten ($p = 0,112$) Unterschiede festgestellt werden (s. Abb. 40).

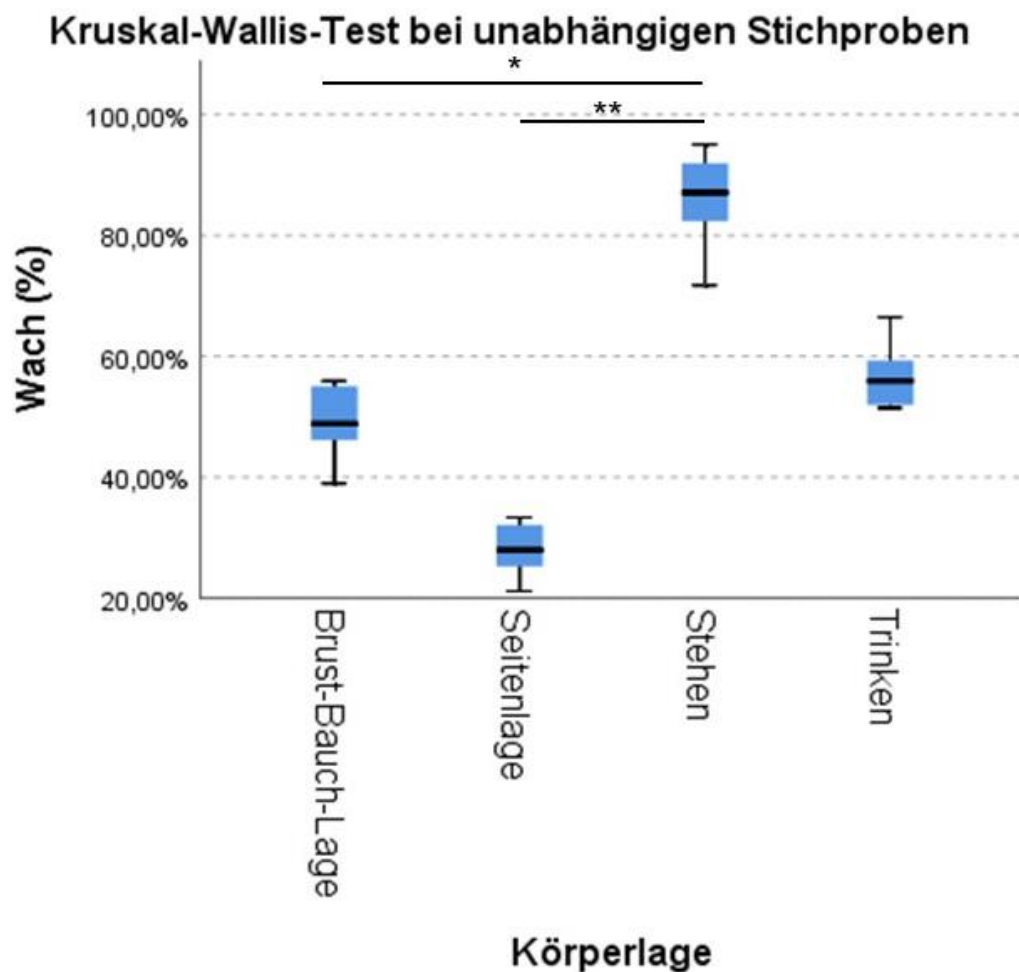


Abbildung 40: Verteilung des Vigilanzstadiums Wach auf die vier Körperlagen von $n = 10$ Fohlen in 48 Stunden (* = $p = 0,004$; ** = $p < 0,001$)

3.2.2. Leichtschlaf

Mit durchschnittlich $49,4 \pm 14,8$ % (Min. 21,3 %; Max. 74,0 %) wurde die meiste Zeit des Leichtschlafs in Seitenlage verbracht. Etwa gleich viel Zeit des Leichtschlafs wurde mit $24,0 \pm 6,4$ % (Min. 16,4 %; Max. 35,2 %) saugend und mit $22,9 \pm 6,7$ % (Min. 8,6 %; Max. 29,6 %) in Brust-Bauch-Lage verbracht. Der geringste Anteil des Leichtschlafs wurde mit $3,8 \pm 5,0$ % (Min. 0,0 %; Max. 14,3 %) im Stehen abgehalten (s. Abb. 38 und Tab. 18).

Während des Leichtschlafs wurde signifikant mehr Zeit in Seitenlage als im Stehen ($p < 0,001$) verbracht. Im Vergleich der Seitenlage zur Brust-Bauch-Lage ($p = 0,040$) oder zum Trinken ($p = 1,000$) konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit des Leichtschlafs wurden mit Trinken als mit Stehen verbracht.

3.2.3. Tiefschlaf

Signifikant ($p < 0,001$) die meiste Zeit des Tiefschlafes wurde mit $73,4 \pm 12,9 \%$ (Min. 54,8 %; Max. 96,7 %) in Seitenlage verbracht. $24,6 \pm 11,9 \%$ (Min. 3,3 %; Max. 42,5 %) des Tiefschlafs wurden in Brust-Bauch-Lage verbracht und $1,9 \pm 2,5 \%$ (Min. 0,0 %; Max. 6,2 %) im Stehen. Während des Saugvorganges konnte kein Tiefschlaf festgestellt werden (s. Abb. 38 und Tab. 18).

Während des Tiefschlafs wurde signifikant mehr Zeit in Seitenlage als im Stehen ($p < 0,001$) verbracht. Kein Unterschied ($p = 0,457$) konnte zwischen den Anteilen der Brust-Bauch-Lage und der Seitenlage während des Tiefschlafs festgestellt werden.

3.2.4. REM-Schlaf

Die meisten REM-Schlafartigen Gehirnströme wurden während des Urinierens und Kotabsetzens im Stehen mit $50,5 \pm 24,3 \%$ (Min. 27,8 %; Max. 100 %) beobachtet. $36,3 \pm 25,5 \%$ (Min. 0,0 %; Max. 70,6 %) des REM-Schlafs wurde in Seitenlage, $12,9 \pm 20,6 \%$ (Min. 0,0 %; Max. 64,8 %) in Brust-Bauch-Lage (s. Abb. 38 und Tab. 18) festgestellt. Alle Fohlen zeigten REM-Schlafartige Gehirnströme während des Kot- und Urinabsatzes, jedoch zeigten nicht alle REM-Schlaf im Liegen.

Während der REM-Schlafartigen Gehirnströme wurde signifikant ($p = 0,001$) mehr Zeit im Stehen als in Brust-Bauch-Lage verbracht. Allerdings konnten weder signifikante ($p = 0,424$) Unterschiede im Anteil der Seitenlage und dem Stehen am REM-Schlaf, noch im Anteil der Brust-Bauch-Lage und der Seitenlage ($p = 0,246$) am REM-Schlaf festgestellt werden.

4. Trinkverhalten

4.1. Gehirnströme während des Saugvorgangs

Während des Saugens konnten in den polysomnographischen Aufzeichnungen zwei verschiedene Erscheinungsbilder festgestellt werden. Zu Beginn der Saugvorgänge waren die Aufzeichnungen häufig durch Artefakte und sehr hochgespannte EEGs gekennzeichnet. Auch im EMG waren sehr hochgespannte und hochfrequente Wellen sichtbar (s. Abb. 41)

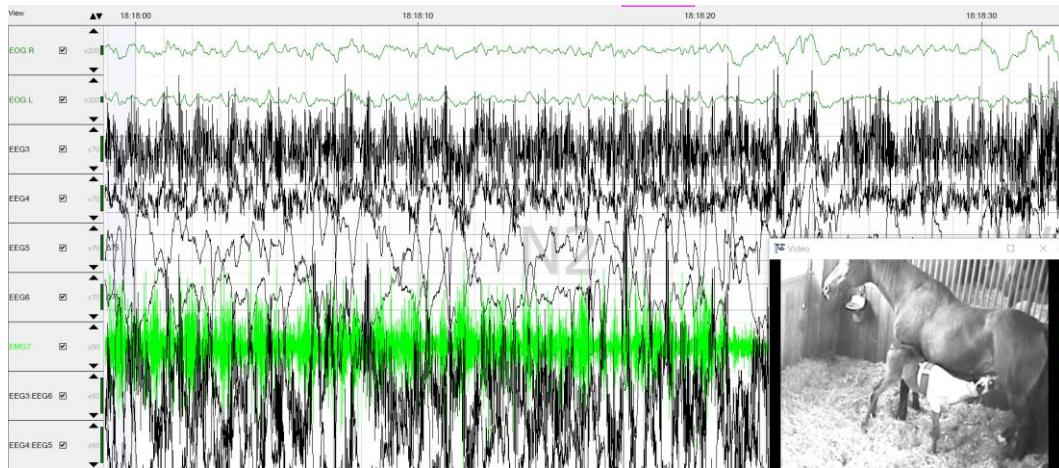


Abbildung 41: Polysomnographische Messung zum Beginn der Saugperiode (Fohlen Nr. 2). Die EEGs sind von Artefakten überlagert und im EMG (grün) ist ein hoher Muskeltonus zu erkennen.

Nach einiger Zeit wurden die artefaktreichen Wellen bei den meisten Saugvorgängen durch ein Leichtschlaf ähnliches Wellenbild ersetzt. Die Amplituden der EEGs befanden sich größtenteils innerhalb der 75 μ V-Grenze. Im EOG waren langsam rollende Augenbewegungen zu erkennen. Die Unterscheidung zum Leichtschlaf konnte dank des hochgespannten und hochfrequenten, allerdings sehr gleichmäßig erscheinenden EMGs getroffen werden (s. Abb. 42).

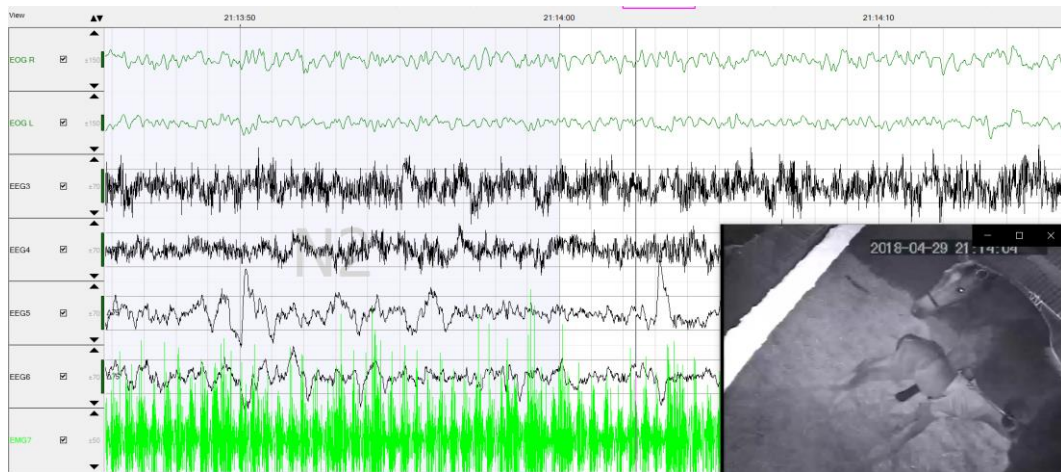


Abbildung 42: Polysomnographische Aufzeichnung eines Fohlens während des Saugens (Fohlen Nr. 4). Die Gehirnströme sind mit denen des Leichtschlafs zu vergleichen. Im EEG sieht man einen konstanten, gleichmäßig hochgespannten Muskeltonus. Im EOG sind kleine Augenbewegungen erkennbar.

Während $56,7 \pm 4,9$ % der Zeit, die mit Saugen verbracht wurde, zeigten die Fohlen bei den polysomnographischen Aufzeichnungen ähnliche Erscheinungsbilder wie während des Wachzustandes. Während $43,2 \pm 4,9$ % der Zeit, die mit Saugen verbracht wurde, zeigten die Fohlen leichtschlafähnliche Gehirnströme

4.2. Quantitative Bestimmung des Saugverhaltens

Jedes der zehn Fohlen saugte in jedem Drei-Stunden-Zeitabschnitt am Euter der Stute. Signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit ($16,9 \pm 6,7$ % der Gesamtmesszeit) verbrachten die Fohlen tagsüber mit Trinken als nachts ($11,5 \pm 4,9$ % der Gesamtmesszeit) (s. Abb. 17). Im Tagesverlauf verbrachten die Fohlen am meisten Zeit mit Trinken zwischen 18.00 und 21.00 Uhr. In diesem Zeitabschnitt nahm das Trinken $19,1 \pm 8,0$ % der Gesamtzeit ein. Den geringsten Anteil des Trinkens im 24-Stundenverlauf zeigten die Fohlen zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr. In diesem Zeitfenster nahm das Trinken $10,6 \pm 4,8$ % der Zeit ein (s. Abb. 23 und Tab. 11). Bei Betrachtung des prozentualen Anteils des Trinkens an der Gesamtmesszeit fällt eine Korrelation ($p < 0,001$; $\rho = 0,422$) im 24-Stundenverlauf auf. So nimmt der prozentuale Anteil des Trinkens an der Gesamtmesszeit von Zeitabschnitt acht (21.00 Uhr bis Mitternacht) bis Zeitabschnitt sieben (18.00 bis 21.00 Uhr) zu (s. Abb. 43).

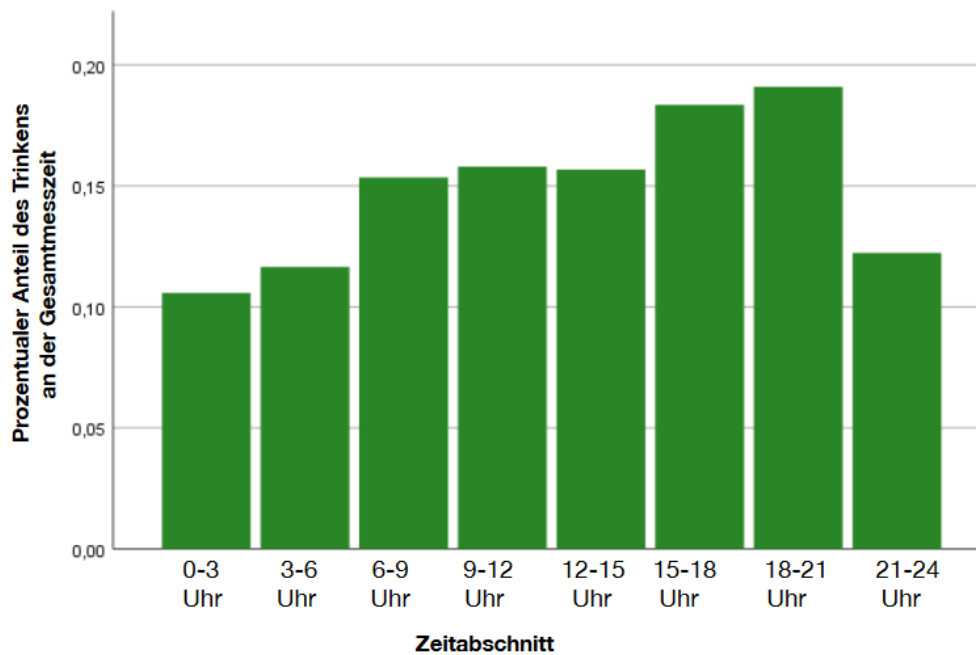


Abbildung 43: Verlauf des prozentualen Anteils der Trinkphasen an der Gesamtmesszeit innerhalb eines 24-Stunden-Tages, aufgeteilt in jeweils Drei-Stunden-Abschnitte (n = 10 Fohlen)

4.2.1. Häufigkeit des Trinkens

Innerhalb des 24-Stundenverlaufs konnten im Durchschnitt $99,9 \pm 14,5$ Saugphasen (Min. 79,5 Saugphasen; Max. 118,5 Saugphasen) beobachtet werden. Innerhalb eines dreistündigen Zeitabschnitts zeigten die Fohlen im Schnitt $12,5 \pm 1,7$ Saugphasen. Durchschnittlich die meisten Saugphasen fanden zwischen 18.00 und 21.00 Uhr statt. In diesem Zeitabschnitt saugten die Fohlen im Mittel $14,7 \pm 4,4$ Mal (Min. 8,5 Mal; Max. 22,5 Mal). Die wenigsten Trinkphasen zeigten die Fohlen zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr. Dort fanden im Schnitt $9,7 \pm 2,4$ Trinkphasen (Min. 5,5 Trinkphasen; Max. 12,5 Trinkphasen) statt (s. Abb. 27 und Tab. 13). Signifikant mehr Saugphasen ($p = 0,002$) konnten tagsüber als nachts beobachtet werden (s. Abb. 28).

4.2.1.1. Interindividuelle Unterschiede

Zusammenfassend sind die interindividuellen Unterschiede in der Häufigkeit des Trinkens in Tabelle 19 dargestellt. Die wenigsten Trinkphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Cidre Cup“ mit 79,5 Trinkphasen. Die meisten Trinkphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Be Invitings Vivian“ mit 118,5 Trinkphasen.

Tabelle 19: Interindividuelle Unterschiede in der Häufigkeit des Trinkens in den acht Zeitabschnitten

Zeitabschnitte als Uhrzeit angegeben, in Klammern Zeitabschnitt Nummer	Häufigkeit der Trinkvorgänge in 24 Stunden in Bezug auf die Fohlen	
	wenigste Trinkvorgänge	meiste Trinkvorgänge
00.00-03.00 (1)	Cidre Cup (Nr. 7)	Lilli (Nr. 10)
03.00-06.00 (2)	Glide Chip (Nr. 2)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
06.00-09.00 (3)	Bruno (Nr. 9)	Don Perignon (Nr. 8)
09.00-12.00 (4)	Mael (Nr. 4)	Finest little Romeo (Nr. 5)
12.00-15.00 (5)	Mael (Nr. 4)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)
15.00-18.00 (6)	Mael (Nr. 4)	Finest little Romeo (Nr. 5)
18.00-21.00 (7)	Cidre Cup (Nr. 7)	Finest little Romeo (Nr. 5)
21.00-24.00 (8)	Cidre Cup (Nr. 7)	Don Perignon (Nr. 8)
Insgesamt	Cidre Cup (Nr. 7)	Be Invitings Vivian (Nr. 1)

4.2.2. Dauer der jeweiligen Trinkvorgänge

Es konnte kein signifikanter ($p = 0,558$) Unterschied in der Dauer der einzelnen Saugphasen zwischen Tag und Nacht beobachtet werden (s. Abb. 26 und 43). Die durchschnittliche Länge der jeweiligen Saugphasen betrug nachts $1,8 \pm 0,5$ Minuten und tagsüber $1,7 \pm 0,3$ Minuten. Im 24-Stundenverlauf betrug die durchschnittliche Dauer einer Trinkphase $1,8 \pm 0,3$ Minuten (s. Abb. 25 und Tab. 12).

Durchschnittlich am längsten im Tagesverlauf dauerten die einzelnen Trinkvorgänge zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr mit $1,9 \pm 0,6$ Minuten (Min. 1,3 Minuten; Max. 3,4 Minuten). Am kürzesten dauerten die Trinkvorgänge mit durchschnittlich $1,6 \pm 0,3$ Minuten (Min. 1,2 Minuten; Max. 2,1 Minuten) zwischen 06.00 und 09.00 Uhr (s. Abb. 44).

Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben

Körperlage: Trinken

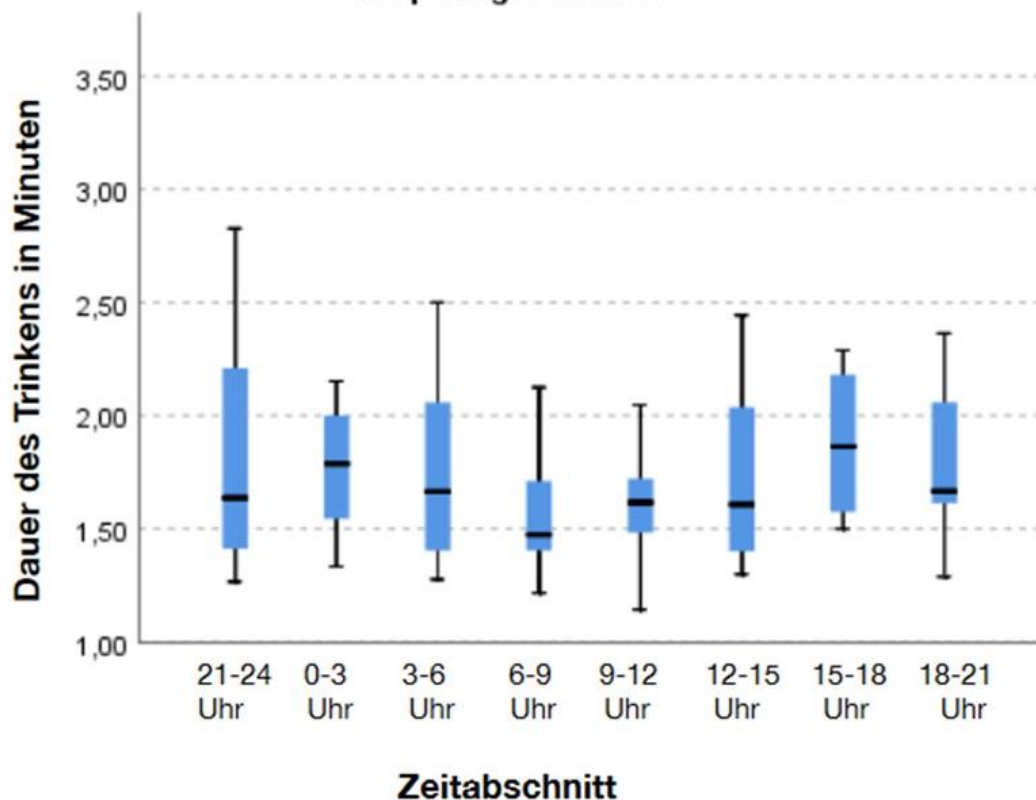


Abbildung 44: Durchschnittliche Dauer der Trinkphasen von n=10 Fohlen im 24-Stundenverlauf. Unterteilung in acht Zeitabschnitte zu je drei Stunden.

4.2.3. Interindividuelle Unterschiede

In Tabelle 20 sind die kürzesten und längsten dauernden Trinkphasen in Abhängigkeit von den Fohlen und den Zeitabschnitten dargestellt. Die kürzesten Trinkphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Glide Chip“ mit einer Dauer von durchschnittlich $1,4 \pm 0,5$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 4,0 Minuten).

Die längsten Trinkphasen im 24-Stundenverlauf zeigte „Be Invitings Vivian“ mit einer durchschnittlichen Dauer von $2,3 \pm 1,3$ Minuten (Min. 0,5 Minuten; Max. 7,0 Minuten).

Tabelle 20: Interindividuelle Unterschiede in der Dauer der Trinkvorgänge während der unterschiedlichen Zeitabschnitte

Zeitabschnitte als Uhrzeit angegeben, in Klammern Zeitabschnitt Nummer)	Dauer der Trinkvorgänge in 24 Stunden in Bezug auf die Fohlen	
	kürzeste Trinkvorgänge	längste Trinkvorgänge
00.00-03.00 (1)	Glide Chip (Nr. 2)	Be invitings Vivian (Nr. 1)
03.00-06.00 (2)	Finest Little Romeo (Nr. 5)	Mael (Nr. 4)
06.00-09.00 (3)	Finest Little Romeo (Nr. 5)	Be invitings Vivian (Nr. 1)
09.00-12.00 (4)	Glide Chip (Nr. 2)	Kalinka (Nr. 6)
12.00-15.00 (5)	Mael (Nr. 4)	Be invitings Vivian (Nr. 1)
15.00-18.00 (6)	Glide Chip (Nr. 2)	Mael (Nr. 4)
18.00-21.00 (7)	Glide Chip (Nr. 2)	Mael (Nr. 4)
21.00-24.00 (8)	Cidre Cup (Nr. 7)	Be invitings Vivian (Nr. 1)
Insgesamt	Glide Chip (Nr. 2)	Be invitings Vivian (Nr. 1)

V. DISKUSSION

1. Diskussion der Methodik

1.1. Auswahl der Probanden

Die Fallzahl von zehn gesunden Fohlen liegt deutlich über den Fallzahlen in vergangenen Messungen (Baird 1973, Mysinger et al. 1985). Darüber hinaus ist die gemessene Zeit mit 48 Stunden pro Fohlen deutlich länger als in vorangegangenen Studien (Mysinger et al. 1985, Lewin 1998, Aleman et al. 2006). Zudem war es erstmalig möglich, dass sich die Fohlen während der Messungen uneingeschränkt in ihrem gewohnten Umfeld bewegen konnten sowie die Untersuchungen nicht invasiv erfolgten (z.B. Klebeelektroden statt Nadelelektroden).

Die Auswahl der Probanden erfolgte größtenteils über persönliche Kontakte. Dadurch kamen die Fohlen aus sieben verschiedenen Ställen. Der Nachteil war, dass die Begleitumstände wie Boxengröße und Stallmanagement nicht genormt waren. Andererseits war dadurch eine breitere Erfassung von Daten möglich, die die Verhaltensweisen von Fohlen nicht nur in Bezug auf einen Stall widerspiegeln. Die Fohlen mussten klinisch gesund sein und nach einer physiologischen Gestationsdauer zwischen 320 und 360 Tagen (Brehm et al. 2016) geboren worden sein. Bei der durchgeführten Untersuchung durften die Fohlen keine neurologischen Auffälligkeiten zeigen. Die Untersuchung der Fohlen erfolgte nach immer dem gleichen Untersuchungsgang, war aber subjektiv beeinflusst, da alle Untersuchungen durch die gleiche Person stattfanden und es keine Kontrollinstanzen in Form eines weiteren Tierarztes oder Bluttestes gab.

Da in vorangegangenen Studien bei adulten Pferden davon ausgegangen wird, dass es Wochen bis Monate dauern kann, bis sich die Pferde nach einem Stallwechsel an die neue Umgebung gewöhnt haben und physiologisches Schlafverhalten zeigen (Ruckebusch et al. 1970, Williams et al. 2008), wurden die Fohlen in der hier vorliegenden Arbeit in ihren heimatlichen Ställen gemessen. Da es über Fohlen bisher nur wenige polysomnographische Arbeiten gibt, ist nicht bekannt, ob auch die Fohlen ein verändertes Schlafverhalten in ungewohnter Umgebung zeigen. Nach Meinung der Autorin kann jedoch davon ausgegangen werden, unter anderem deswegen, weil sich das veränderte Verhalten der Mutter auf das Fohlen überträgt.

Ein weiteres Zulassungskriterium waren die Gegebenheiten des Stalles, da die Fohlen zumindest die Nacht mit ihren Müttern in einer Box verbringen mussten. Die jeweiligen Boxen mussten komplett durch Videokameras erfasst werden können, da die Aufzeichnungen für die spätere Auswertung unerlässlich waren (Aleman et al. 2008, Williams et al. 2008). Des Weiteren war das Verhalten der Mutterstuten ausschlaggebend für die Auswahl, wobei sich diese zum größten Teil sehr friedlich verhielten. Alle Mutterstuten waren den Umgang mit Menschen gewohnt und keine zeigte aggressives Verhalten gegenüber den Untersuchern.

1.2. Auswahl des Materials

Wie auch in vorangegangenen Studien wurde der portable Polysomnograph SOMNOscreen™ plus genutzt, um die polysomnographischen Messungen durchzuführen (Wöhr et al. 2006, Güntner 2010, Kalus 2014, Fuchs 2017). Bei Wijnberg et al. (2013) wurde eine Headbox benutzt, bei welcher es möglich war, alle Elektrodenkabel einzeln einzustecken (Wijnberg et al. 2013). Dies war bei der hier zugrundeliegenden Studie nicht der Fall, da alle Elektroden mittels einer speziell angefertigten Konstruktion in einen gemeinsamen Kabelbaum zusammenliefen. Den Fohlen konnte dadurch während des Anbringens der Elektroden keine Pause gewährt werden. Für weitere polysomnographische Studien an Fohlen wird deshalb ein System mit Headbox empfohlen, um die Elektroden einzeln einstecken zu können.

Die Übertragung der Daten auf den zusätzlichen Laptop erfolgte via Funk. Der Laptop wurde jeweils vor den Boxen, bzw. so nah wie möglich an diese aufgestellt. Je weiter die Entfernung war und vor allem je mehr Wände oder andere Pferde zwischen Sender und Empfänger waren, desto schlechter wurde die Qualität der übertragenen Daten. Aus diesem Grund sind bei weiteren Studien die Gegebenheiten der Ställe besonders zu berücksichtigen.

Die zum System gehörende Infrarotkamera (Videokamera COMPACT, Firma SOMNOmedics) wurde durch ein Kabel mit dem Laptop verbunden. Durch das Verlegen des Kabels dauerte die Aufbauzeit deutlich länger, wodurch Fohlen und Mutterstute längere Zeit der Störung ausgesetzt waren. Sicherlich ist es sinnvoll, auch bei der Kamera ein kabelloses System zu wählen, um die Installationszeit und somit die Beunruhigung der Fohlen zu minimieren. Trotzdem scheint das kabelgebundene Kamerasystem im Vergleich zu einer persönlichen Beobachtung die Tiere deutlich weniger zu beunruhigen und sehr einfach in der Handhabung zu sein (Boyd et al. 1988, Crowell-Davis 1994, Heitor et al. 2008). Das Anbringen der Kameras stellte eine weitere Beunruhigung der Tiere für

einen Zeitraum von ca. 10 Minuten dar. Aufgrund der Notwendigkeit der Videoaufnahmen für die weitere Auswertung der Aufzeichnungen (Aleman et al. 2008, Williams et al. 2008) konnte darauf allerdings nicht verzichtet werden. Auch die weiteren genutzten Kameras waren Infrarotkameras, wodurch keine zusätzliche Lichtquelle im Stall notwendig war. Somit wurden die Fohlen in ihrem gewohnten Tag-Nacht-Rhythmus nicht weiter beeinträchtigt. Eine Alternative bzw. Ergänzung zu den Kamerasystemen könnten Lagesensoren darstellen, die an den Tieren angebracht werden können und Lageveränderungen speichern (Burla et al. 2017, Murase et al. 2018). Durch diese ist es möglich, das Liegeverhalten auch in großen Stallungen festzustellen, welche nicht komplett mit Kameras erfasst werden können (Murase et al. 2018).

1.3. Durchführung der Messungen

Die Anbringung der Elektroden inklusive der Vorbereitung der Hautstellen, auf welche die Elektroden geklebt wurden, dauerte etwa 15 Minuten pro Fohlen. Zum Anbringen der Elektroden wurden die Fohlen in vorausgegangenen Studien sediert (Aleman et al. 2006), was die Auswertbarkeit der physiologischen Gehirnströme schwierig erscheinen lässt, da beim adulten Pferd Veränderungen des EEGs unter Sedation beschrieben sind (Mysinger et al. 1985, Williams et al. 2012). Aufgrund dessen wurde bei der vorliegenden Arbeit auf eine Sedation der Fohlen während des Anbringens der Elektroden verzichtet. Eine Ruhigstellung der Fohlen war mittels des Fohlenhaltegriffes (ein Arm um die Fohlenbrust, der andere um das Hinterteil) möglich. Weder ein Niederliegen der Fohlen, wie in vorhergehenden Studien beschrieben (Tóth 2019), noch eine Kataplexie (Adams et al. 1984) konnten festgestellt werden. Eine mögliche Begründung ist, dass die Fohlen in vorliegender Studie nicht fest genug gedrückt wurden, um den Reflex der Muskelrelaxation auszulösen (Jeffcott et al. 1979, Adams et al. 1984, Mayhew 1988). Zum Anbringen der Messapparatur wurden die Fohlen von einer Person im Stehen oder Liegen fixiert. Das Anbringen der Elektroden war im Gegensatz zu anderen Studien (Toth et al. 2012) bei allen zehn Fohlen ohne Zwangsmaßnahmen möglich. Die von Toth et al. (2012) beschriebenen Veränderungen des EEGs während der Fixation der Fohlen wie Spindeln, Vertex-Zacken, K-Komplexe und Slow-Waves (Toth et al. 2012), konnten in der hier vorliegenden Studie nicht beobachtet werden. Alle Fohlen liefen direkt nach dem Anbringen der Elektroden sofort zu ihren Müttern, um zu Saugen. Diese Reaktion ist als Stressverhalten zu bewerten, da die Fohlen davor der Fixation und Manipulation durch das Aufkleben der Elektroden ausgesetzt waren. Die Stuten wurden von einer weiteren Person direkt neben den fixierten Fohlen festgehalten,

wobei keine der Stuten Stress oder Aggressionen gegenüber den anwesenden Personen zeigte. Insgesamt betrachtet kann von einer relativ niedrigen Stressbelastung für Fohlen und Mutterstute ausgegangen werden, da keines der Fohlen während des Anbringens der Elektroden erhöhte Atemfrequenz oder Schwitzen zeigte.

In vorangegangenen Studien wurden die Stellen im Gesicht der Pferde, auf welche die Elektroden geklebt wurden, mit einem Rasiermesser enthaart (Kalus 2014, Fuchs 2017). Die Fohlenhaut reagiert sehr empfindlich auf das Rasieren und durch abrupte Kopfbewegungen der Fohlen kann es bei Fohlen zu oberflächlichen Schnittverletzungen kommen. Daher wurde das Fell bei den Fohlen mit einer Schermaschine der Firma Aesculap® geschoren. Der zeitliche Aufwand und das Verletzungsrisiko konnten dadurch minimiert werden.

Um den Halt der Elektroden über 48 Stunden zu gewährleisten, wurden die Napfelektroden mit Elektrodenleitpaste gefüllt und deren Rand mit Sekundenkleber bestrichen. Die Elektroden ließen sich nach 48 Stunden schnell und schmerzfrei von den Fohlenköpfen entfernen, allerdings haftete der Mix aus Sekundenkleber und Elektrodenleitpaste noch mehrere Wochen auf der Haut der Fohlen. Keines der Fohlen zeigte jedoch während oder nach den Messungen Hautirritationen oder Juckreiz an den Hautpartien, auf denen die Elektroden geklebt hatten. Die geschorenen Stellen waren allerdings noch Monate später durch eine andere Fellfarbe gekennzeichnet, was für viele Besitzer unangenehm war. Durch das Nachwachsen des Felles bzw. den Wechsel vom Fohlenfell zum Folgefell waren auch diese Eingriffsspuren verschwunden. Aleman et al. (2008) verwendeten zur Fixation der Elektroden Kollodium (Hautkleber) (Aleman et al. 2008), welcher eine zu testende Alternative für weitere EEG-Studien an Fohlen darstellt. Eine wenig invasive Methode wurde 2017 von Coussillas et al. getestet, in der die Elektroden in einen Halfterähnlichen Gurt eingebaut wurden. Bei dieser Methode mussten die Hautstellen weder rasiert noch gereinigt werden und die Anbringungszeit lag bei unter fünf Minuten (Coussillas et al. 2017). Bisher wurden allerdings nur Messungen an wachen adulten Pferden über einen Zeitraum von 15 Minuten durchgeführt. Die Aufzeichnung von EOG und EMG ist mit diesem System nicht beschrieben, wodurch es für die Schlafstadienbestimmung bei Fohlen nicht brauchbar erscheint. Eine weitere Möglichkeit stellen selbstklebende Elektroden dar, welche Wijnberg et al. (2013) benutzten, nachdem das Anbringen von Napfelektroden auf zuvor rasierte und gereinigte Hautstellen zu lange dauerte und die selbstklebenden Elektroden sicherer anzubringen waren (Wijnberg et al. 2013). Aus tierschutzrechtlichen Gründen wurde trotz des

besseren Halts auf implantierte Elektroden verzichtet (Garner et al. 1972, Dallaire et al. 1974, Hale et al. 1980). Um das Risiko des Loslösens einzelner Elektroden zu minimieren wurde analog zu vorangegangenen Studien Sekundenkleber, Animal Polster und Slezys® zur Fixierung der Elektroden genutzt (Güntner 2010, Kalus 2014, Fuchs 2017). Die Slezys® wurden vor ihrer Verwendung mit einem Reißverschluss versehen, der in die ventrale Naht eingenäht wurde, um ein schnellstmögliches An- und Ausziehen zu gewährleisten. In der Humanmedizin werden aktuell Alternativen zur Polysomnographie für die Schlafstadienbestimmung getestet. Dazu zählen Uhren, Apps und Armbänder. Nach wie vor konnte keines der Geräte die Polysomnographie als Goldstandard ersetzen (Boe et al. 2019, Schabus et al. 2019).

1.4. Auswertung der Messungen

Eine quantitative, computergestützte Auswertung der Messungen war durch die in relativ großer Anzahl vorkommenden Artefakte in Form von Bewegungs- und Schweißartefakten, sowie das Loslösen einzelner Elektroden, sowie die übertragenen Augenbewegungen nicht möglich. Auch andere Autoren bestätigen, dass es zurzeit keine Alternative zur manuellen Auswertung gibt (Nuwer 1998, Williams et al. 2012). Die im Ergebnisteil präsentierten Werte stammen von artefaktfreien Sequenzen der Messungen und dienen als Orientierung. Auch Sequenzen, die mit Artefakten versehen sind, sind durchaus den verschiedenen Schlafstadien auf Grund ihrer Morphologie zuzuordnen. Exakte Messwerte für solche Frequenzen zu bestimmen gestaltet sich allerdings schwierig, wodurch auf eine manuelle Auswertung der Messungen vorerst nicht verzichtet werden kann.

1.4.1. Frequenz-Analyse

Da bei einer automatischen Frequenzanalyse die Morphologie der EEG-Wellen verloren geht, ist nicht zu klären, wodurch die verschiedenen Frequenzen entstehen (Fisch 1997). So ist die automatische Frequenzanalyse auch bei Fohlen nicht einsetzbar, da wichtige Informationen, wie z.B. das Auftreten spezieller Wellenformen oder die Häufigkeit des Auftretens dieser Wellen verloren gehen. Andererseits ist durch eine automatisierte Auswertung eine objektive Auswertung der Daten möglich, was eine Verfälschung der Daten durch die subjektive Einschätzung der jeweiligen Auswerter minimiert (Holliday et al. 2003). Bei der Suche nach Graphoelementen kann die automatische Analyse durchaus hilfreich sein. In vielen Programmen ist es möglich, bestimmte Wellenformen zu markieren, diese zu beschriften und das Programm nach

weiteren morphologisch ähnlichen Wellen suchen zu lassen (Holliday et al. 2003). Eine individuelle Kontrolle aller Daten wird dadurch zwar nicht ersetzt, aber deutlich beschleunigt und objektiver gemacht. In der hier vorliegenden Studie wurde die Fast-Fourier-Transformation (FFT) zur genauen Frequenzanalyse genutzt. Allerdings wurden davor die artefaktfreien Sequenzen ausgesucht.

1.4.2. Artefakte

In vorangegangenen Studien wird das Problem der EEG-Beschreibung im Wachzustand häufig thematisiert. So fiel es schwer, EEG-Passagen ohne Muskel-, Bewegungs- oder Schweißartefakte zu finden (Aleman et al. 2008). Auch in der vorliegenden Studie war es schwierig, artefaktfreie Passagen zu finden. Die Elektroden wurden modifiziert, jedoch nach dem gleichen Schema wie bei adulten Pferden angebracht (Mysinger et al. 1985, Güntner 2010), was auch in der Humanmedizin nach den Richtlinien der AASM praktiziert wird (Iber et al. 2007). Ein Nachteil des Anbringungsschemas war die Nähe des Elektrodenpaares EEG 5 und EEG 6 zu den nasalen Augenwinkeln, wodurch die Augenbewegung häufig auf die jeweiligen EEG-Ströme übertragen wurden. Für weitere polysomnographische Studien an Fohlen scheint es daher sinnvoll, das rostrale Elektrodenpaar (EEG 5 und EEG 6) weiter dorsal zu setzen, um Artefakte durch Augenbewegungen zu verhindern. Weitere Artefakte kamen durch Muskelbewegungen oder schlechtsitzende bzw. gelöste Elektroden zustande. Je weiter die Messung fortgeschritten war, desto häufiger lösten sich Elektroden oder hatten keine genügende Ankopplung mehr. Lacombe et al. (2001) unterspritzten bei ihrer Studie die jeweiligen Muskelgruppen mit Lokalanästhetikum, um die durch Muskelzuckungen ausgelösten Artefakte zu vermeiden. Sowohl die Messungen als auch die Lokalanästhesien wurden unter Vollnarkose durchgeführt (Lacombe et al. 2001). In der hier vorliegenden Studie wurde auf Lokalanästhetikum verzichtet, zum einen, weil es für die Zukunft nicht praxistauglich erscheint, zum anderen, weil es kein Lokalanästhetikum gibt, welches über den Zeitraum von 48 Stunden wirkt (Kästner 2011). Auf eine mehrfache Applikation eines Lokalanästhetikums wurde des Weiteren verzichtet, weil der Tierschutzaspekt der Autorin wichtiger erschien und die Methodik sowie die erhobenen Messdaten in Zukunft universell einsetzbar sein sollen.

Die im Tiefschlaf auftauchenden, über alle EEG-, EOG- und EMG ziehenden großen Ausschläge, welche bei adulten Pferden als Artefakt gewertet werden, werden in der vorliegenden Arbeit als physiologisch angesehen und als Graphoelemente dem Tiefschlaf zugeordnet. Diese Entscheidung wurde

getroffen, weil die Ausschläge bei allen zehn Fohlen in jeder Tiefschlafphase erkennbar waren und mit keinerlei neurologischen oder allgemein pathologischen Verhaltensweisen verknüpft werden konnten.

Auch bei erwachsenen Pferden sind Artefaktbereiche, ausgelöst durch Kopfschütteln oder hektische Bewegungen, beschrieben, welche die Ableitungen überlagern. Diese sind aufgrund der Videoaufzeichnungen zu identifizieren (Kalus 2014). Bei der Bestimmung der EEG-Werte für adulte Pferde wählte Lewin (1998) artefaktfreie Sequenzen, da auch in dieser Studie biologische Artefakte nicht vermeidbar waren (Lewin 1998). Die Hauptstörquelle der kaudal liegenden Ableitungen waren bei Williams et al. (2008) die Bewegung der Ohren (Williams et al. 2008). Diese Artefakte konnten in der hier vorliegenden Studie nicht beobachtet werden. Wie schon erwähnt, wurden vor allem die rostral liegenden Elektroden von den Augenbewegungen beeinflusst. Als am wenigsten von Artefakten beeinflusstes Schlafstadium wird bei adulten Pferden der Slow-Wave-Schlaf beschrieben (Williams et al. 2008). Bei den Fohlen konnten sowohl der SW-Schlaf als auch der Leichtschlaf in den meisten Teilen der Zeit artefaktfrei dargestellt werden.

2. Diskussion der Ergebnisse

2.1. Schlafverhalten

2.1.1. Qualitative Bestimmung der Vigilanzstadien der Fohlen

Wie auch von anderen Autoren (Lewin 1998) beschrieben, zeigt sich bei den polysomnographischen Messungen der Fohlen ein deutlich anderes Bild der EEG-Ableitungen als bei adulten Pferden. Bei adulten Pferden ist ein kontinuierlicher Anstieg der Amplitudenwerte von frontal nach okzipital zu erkennen. Auch die mittleren Frequenzen nehmen in die gleiche Richtung zu. Im Links-Rechts-Vergleich sind keine deutlichen Unterschiede auffindbar (Lewin 1998). Die gleichen Beobachtungen wurden auch bei der hier vorliegenden Studie gemacht. Im Rechts-Links-Vergleich konnten keine Unterschiede der EEG-Werte festgestellt werden, im Vergleich der Elektrodenpaare EEG 3 und EEG 4 (okzipital) zu EEG 5 und EEG 6 (frontal) dagegen schon. Auch bei den Fohlen ist ein Anstieg der Amplitudenwerte von frontal nach okzipital zu verzeichnen. Eine Erklärung für die unterschiedlichen Messwerte lässt sich in den anatomischen Gegebenheiten der Schädel finden. Die hirnumhüllenden Gewebeschichten stellen unterschiedlich starke kapazitive und induktive Widerstände für die sich im Gehirn ausbreitenden kortikalen Feldpotenziale dar, welche somit abgeschwächt oder verzerrt werden (Rössner 1970, Zschocke et al. 2011). Es wird vermutet, dass sich ein Teil der Elektroden auf dem Sinus frontalis befindet, wodurch die EEG-Signale durch die Luftschicht abgeschwächt werden können.

Die Schwierigkeiten, Beta-Wellen aufzuzeichnen, wie in vorhergehenden Studien (Grabow et al. 1969, Williams et al. 2008) beschrieben, konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden.

In der Humanmedizin erfolgt die Einteilung der Vigilanzstadien bei Neugeborenen unter zwei Monaten nach AASM in Wach, Non-REM- und REM-Schlaf sowie in Übergangsstadien (Iber et al. 2007). Bei adulten Pferden werden die Zustände Wach, Leichtschlaf, Tiefschlaf und REM-Schlaf unterteilt (Williams et al. 2008). Die Einteilung der Schlafstadien der Fohlen anhand der Richtwerte für adulte Pferde ist nicht möglich, da die Gehirnströme der Fohlen in ihrer Morphologie, Frequenz und Amplitude von denen der adulten Pferde abweichen. Empfehlungen für die Definierung von Grenzbereichen für das EEG von Fohlen während der unterschiedlichen Vigilanzstadien werden im Nachfolgenden gegeben.

2.1.1.1. Wachzustand

In der hier vorliegenden Arbeit wurden für den Wachzustand der Fohlen keine Messwerte angegeben, da in den Aufzeichnungen des Wachzustandes kaum artefaktfreie Sequenzen vorkamen. Die angegebenen Werte von 2-7 Hz und 50-140 μ V (Lewin 1998) oder 3-6 Hz und 25-50 μ V (Mysinger et al. 1985) können somit nicht bestätigt werden. Es wurde darauf verzichtet, nur wenige Sekunden lange Sequenzen auszuwerten, da diese nicht repräsentativ scheinen. Um aussagekräftige Werte für den Wachzustand zu erlangen, muss entweder ein anderes Elektrodensystem verwendet werden, das Bewegungs- und Schwitzartefakte besser ausblenden kann, oder auf zu implantierende Elektroden zurückgegriffen werden, wobei sich hierbei die Frage nach der Notwendigkeit vor allem in Bezug auf den Tierschutz stellt. Bestätigt werden durch die hier vorliegende Studie die Aussagen zum Vorherrschen einer Grundtätigkeit im Delta/Theta-Bereich und die Bezeichnung des Hirnstrombilds als diskontinuierlich und frequenzstabil (Lewin 1998). Eine Optimierung des Umfeldes, um die Fohlen zu beruhigen und somit bessere Ableitungen im Wachzustand zu erlangen, scheint kaum möglich, da die Fohlen in ihrem gewohnten Umfeld zusammen mit ihrer Mutter und ohne den ständigen Kontakt zu Menschen gemessen wurden. Auch die Elektroden scheinen die Fohlen nicht zu stören, da sich keine Veränderung der EEG-Werte oder des Schlafverhaltens innerhalb der 48 Stunden zeigt. Auch das Unterspritzen von Muskelgruppen mit Lokalanästhetikum, um Muskelartefakte minimieren zu können (Lacombe et al. 2001), war in der vorliegenden Studie keine Option. Neben den oben genannten tierschutzrechtlichen Gesichtspunkten bestand des Weiteren die Befürchtung, dass sich die EEG-Artefakte auch durch ein Muskelrelaxans nicht verbessern würden. Ein weiterer Punkt, der gegen ein Lokalanästhetikum sprach, war, wie oben bereits erwähnt, die Praxistauglichkeit für die Zukunft, die in den Augen der Autorin nicht gegeben scheint.

2.1.1.2. Leichtschlaf

Wie von Mysinger et al. (1985) beschrieben, zeigte das EEG in der vorliegenden Studie ähnliche Werte im Leichtschlaf (irreguläre Wellen mit Frequenzen von 1-6 Hz und 8-10 Hz bei mittelhohen bis hohen Amplituden) wie bei den von Mysinger et al. (1985) gemessenen Fohlen. Obwohl die Amplituden meist innerhalb der 75 μ V-Grenzen liegen, gibt es teilweise deutliche Ausschläge darüber hinaus. Auch die Frequenz kann im niedrigen Bereich liegen, wodurch einige Anteile des Leichtschlafes per definitionem dem Slow-Wave-Sleep (20 % der Wellen in einem Frequenzbereich von 1-2 Hz und Amplitude >75 μ V)

zugeordnet werden müssen (Keenan et al. 2011). Morphologisch sind die EEG-Wellen allerdings deutlich von denen des Tiefschlafes abzugrenzen. Eine Möglichkeit für das weitere Klassifizieren von Fohlenschlaf, wäre die Grenzwerte für Fohlen neu zu definieren. So würde das Heraufsetzen des Grenzwertes für SW-Schlaf auf 85 μ V den prozentualen Anteil der Wellen, die über dieser Marke liegen, auf unter 20 % reduzieren. Dies würde eine Zuordnung des eigentlichen Leichtschlafes zum SW-Schlaf ausschließen. Eine Alternative wäre, die Bezeichnung zu ändern und in Bezug auf Fohlenschlaf nur von Leichtschlaf und Tiefschlaf zu sprechen. Dies würde voraussetzen, die EEG-Wellen vor allem aufgrund ihrer Morphologie den verschiedenen Stadien zuzuordnen.

Graphoelemente wie Spindeln und K-Komplexe, die in der Humanmedizin und bei adulten Pferden als Indiz des Schlafstadiums N2 herangezogen werden (Grigg-Damberger et al. 2007, Berry 2018), waren auch in der hier vorliegenden Studie bei jedem Fohlen nachweisbar. Die K-Komplexe ähneln in ihrer Form denen erwachsener Pferde (Williams et al. 2008, Kalus 2014), wobei sie oftmals geringer ausgeprägt sind als bei adulten Tieren. Die Spindeln, die im Fohlen-EEG gefunden werden, sind eher als spindelartige Veränderungen zu beschreiben, da sie in ihrer Ausprägung deutlich kürzer als die von erwachsenen Pferden und in ihrer Frequenz höher sind. Außerdem kommen die Graphoelemente nicht in der gleichen Häufigkeit wie beim erwachsenen Pferd vor. In der hier vorliegenden Studie wurden die Stadien N1 und N2 (Berry 2018) zum Stadium Leichtschlaf zusammengefasst, wie es in vorangegangenen Studien bei erwachsenen Pferden auch der Fall war (Güntner 2010, Kalus 2014). 30-Sekunden-Epochen wurden auch zum Leichtschlaf gezählt, wenn keine Graphoelemente erkennbar waren. Die Voraussetzung für den Leichtschlaf war, dass sich die Wellen innerhalb der 75 μ V-Grenze befanden und der Muskeltonus niedrig gespannt war. Zu diskutieren ist, ob die Epochen, die keine Graphoelemente enthalten, zum entspannten Wachzustand oder als Stadium N1 gezählt werden sollten oder, wie hier geschehen, zum Leichtschlaf. Um einen Überblick über das Schlafverhalten und die Verteilung der Schlafstadien zu erlangen, reicht eine Einteilung in Leichtschlaf, Tiefschlaf und REM-Schlaf aus. Die Ergebnisse dieser Untersuchung deuten darauf hin, dass bei jungen Fohlen eine weitere Differenzierung der Schlafstadien möglich ist. Ob diese detailliertere Auswertung notwendig ist, um pathologische Zustände besser erkennen und differenzieren zu können, bleibt abzuwarten.

Bei erwachsenen Pferden wurde im Leichtschlaf keine, bis sehr wenig δ -Aktivität beschrieben (Kalus 2014). Dies ist der wohl größte Unterschied in den

elektroenzephalographischen Aufzeichnungen von erwachsenen Pferden zu Fohlen. Damit bestätigen sich die Aussagen anderer Autoren, dass sich das polysomnographische Bild von Fohlenschlaf deutlich vom dem des adulten Pferdeschlafs unterscheidet (Mysinger et al. 1985, Lewin 1998).

Im Gegensatz zu menschlichen Neugeborenen zeigen Fohlen bereits innerhalb der ersten Lebenswoche Graphoelemente wie K-Komplexe und Schlafspindeln. Menschen zeigen Schlafspindeln erst sechs Wochen bis drei Monate nach der Geburt und K-Komplexe erst drei bis sechs Monate nach der Geburt (Berry 2018). Auch bei Katzenwelpen konnten Schlafspindeln erst ab der vierten Lebenswoche beobachtet werden (Lewis et al. 2011). Dies lässt die Vermutung zu, dass das Gehirn von Fohlen zum Zeitpunkt der Geburt bereits weiterentwickelt ist, als das von menschlichen Neugeborenen und Katzenwelpen zum Zeitpunkt der Geburt. Da die Familie der Equidae zu den Fluchttieren zählt, scheint dies als logische Konsequenz, dass neugeborenen Fohlen weiterentwickelt sind als die Neonaten der Raubtiere, was wiederum die Nesthocker- und Nestflüchter-Theorie unterstreicht.

2.1.1.3. Tiefschlaf

Der Tiefschlaf von Fohlen ist geprägt durch einen hohen Anteil an Delta-Wellen. Diese „high-voltage-slow-waves“ wurden in früheren Studien auch bei adulten Pferden im Zusammenhang mit Erkrankungen des Gehirns (Lacombe et al. 2001), oder nach der Gabe von Xylazin, Ketamin oder Isofluran beobachtet (Purohit et al. 1981, Lacombe et al. 2001). Auch bei Fohlen unter Sedation wurde Slow-Wave-Sleep mit Amplituden bis zu 200 μ V festgestellt (Mysinger et al. 1985). In der hier vorliegenden Studie wurden die hoch-amplitudigen, niederfrequenten Wellen als physiologisch angesehen und dem Stadium „Tiefschlaf“ zugeordnet. Alle Fohlen zeigten diese Wellen und es waren keinerlei neurologische Ausfälle im Zusammenhang mit den EEG-Veränderungen erkennbar. Auch im Tiefschlaf waren in den okzipital liegenden EEGs höhere Amplituden als in den frontalen Ableitungen messbar, wie auch schon bei adulten Pferden beschrieben wurde (Lewin 1998). Die Augenbewegungen waren in der hier vorliegenden Studie im Tiefschlaf nicht beurteilbar, da die EOG-Kanäle von den EEG-Wellen überlagert und beeinflusst wurden. Eine andere Anbringung der EOG-Elektroden scheint schwierig, da durch das weit rostrale Sitzen der Elektroden EEG 5 und EOG 6 auch der nasale Augenwinkel bereits gemessen wurde.

2.1.1.4. REM-Schlaf

REM-Schlaf konnte in den hier zugrundeliegenden Messungen nur selten beobachtet werden. In anderen Spezies dagegen stellt der REM-Schlaf einen großen Anteil des Schlafes in den ersten Lebenswochen dar. So machte der REM-Schlaf bei menschlichen Neugeborenen 40,6 % der Gesamtschlafenszeit aus (Daftary et al. 2019). Kälber verbringen 45 ± 7 % der Gesamtschlafenszeit im REM-Schlaf (Hänninen et al. 2008). REM-Schlaf wird als grundlegend für die Entwicklung des Gehirns angesehen (Roffwarg et al. 1966, Van Someren et al. 1990). So wurden bei neugeborenen Ratten verminderte Gehirngewichte nach REM-Schlafentzug festgestellt (Mirmiran et al. 1983). Außerdem wird REM-Schlaf als Schutzmechanismus für das zentrale Nervensystem gewertet, da nachgewiesen wurde, dass REM-Schlaf die Apoptose von ZNS-Zellen verhindert (Morrissey et al. 2004). Umso fraglicher ist die Tatsache, dass in dieser Studie kaum REM-Schlaf bei den Fohlen nachgewiesen werden konnte. Technische Probleme der Messinstrumente können ausgeschlossen werden, da die polysomnographischen Werte bei allen Fohlen ähnlich und alle Schlafstadien gut auswertbar waren. Außerdem konnten Abschnitte von REM-Schlaf aufgezeichnet werden, die dem REM-Schlaf adulter Pferde gleichen (Williams et al. 2008, Kalus 2014). Eine Störung der Fohlen durch die Elektroden oder den Polysomnographen kann nicht ausgeschlossen werden. Allerdings zeigten die Pferde zwischen den beiden gemessenen Nächten keine signifikanten ($p < 0,001$) Unterschiede im Auftreten der verschiedenen Schlafstadien. Es konnte auch bei keinem Fohlen Abwehrverhalten oder der Versuch, die Messapparatur abzustreifen, festgestellt werden. Bei vorangegangenen Studien wurden die Pferde an die Messapparatur gewöhnt, indem ihnen Attrappen des Polysomnographen umgehängt wurden. Die einheitliche Meinung der Autoren war, dass die Pferde durch die Messapparatur in keiner Weise gestört wurden (Güntner 2010, Kalus 2014, Ternman et al. 2018). Aus diesen Gründen ist nicht davon auszugehen, dass die Fohlen aufgrund der veränderten Umstände nur wenig REM-Schlaf zeigten. Eventuell sind die Rapid-Eye-Movements in der ersten Lebenswoche der Fohlen noch nicht in dem Maße ausgeprägt, dass diese eindeutig bei den polysomnographischen Messungen identifiziert werden konnten. Infolgedessen könnten Teile des Leichtschlafs fälschlicherweise nicht als REM-Schlaf gewertet worden sein. Auch hier stellt sich wiederum die Frage, welche Verbesserungen in Bezug auf die EOGs für Folgestudien getroffen werden können. Wie auch oben schon erwähnt, sind die Augen sowohl vom temporalen Augenwinkel durch die EOG-Elektroden, als auch vom nasalen Augenwinkel durch die Elektroden des EEG 5 und EEG 6 erfasst. Durch die hier

vorliegenden Messungen wurde gezeigt, dass Fohlen innerhalb der ersten Lebenswoche nur sehr wenig REM-Schlaf zeigen. Interessant wären weitere Studien bei Fohlen in der zweiten, dritten und vierten Lebenswoche, um zu bestimmen, ab welchem Zeitpunkt die Fohlen REM-Schlaf über längere Zeitabschnitte hinweg zeigen.

Bei menschlichen Säuglingen nimmt der SW-Schlaf zu, sobald der REM-Schlaf in der frühen Entwicklung weniger wird. Es wird vermutet, dass das vermehrte Vorkommen von SW-Schlaf ein Anzeichen der fortgeschrittenen Gehirnentwicklung und abgeschlossenen Ausbildung von Synapsen ist (Frank et al. 2001, Fattinger et al. 2014, Huber et al. 2014). Eine weitere Funktion, die dem SW-Schlaf zugeschrieben wird, ist die Gedächtnisbildung und das Lernen (Ghilardi et al. 2004). Es kann vermutet werden, dass das Gehirn der Fohlen zum Zeitpunkt der Geburt bereits weiter ausgebildet ist, als das Gehirn von menschlichen Neugeborenen und aus diesem Grund kaum REM-Schlaf, dafür aber ein hoher prozentualer Anteil an SW-Schlaf existiert, was wiederum die Nesthocker- und Nestflüchter-Theorie unterstützen würde. Nichts desto trotz scheint der Anteil an REM-Schlaf in der hier vorliegenden Studie sehr niedrig und es bedarf einer Verifizierung der Ergebnisse in weiteren Studien zum polysomnographischen Schlafverhalten von Fohlen.

2.1.2. Quantitative Bestimmung des Schlafverhaltens von Fohlen

Da es bisher nach vorliegendem Kenntnisstand keine polysomnographischen Untersuchungen zum Schlafverhalten von Fohlen über einen längeren Zeitraum in ihrem natürlichen Umfeld gibt, sind wenige Vergleichswerte vorhanden. Bisher wurden Schlafstadien häufig mit Körperlagen verknüpft, wodurch in Beobachtungsstudien auch Vigilanzstadien angegeben wurden (Boy et al. 1979, Crowell-Davis 1994).

2.1.2.1. Prozentuale Verteilung der Schlafstadien

Trotz ihres hohen Schlafbedarfs (Ruckebusch 1972) verbringen Fohlen während des 24-Stundenverlaufs signifikant ($p < 0,001$) die meiste Zeit im Wachzustand. Allerdings ist der prozentuale Anteil des Wachzustandes an der Gesamtmesszeit während des Tages (56,9 % der Gesamtmesszeit) signifikant ($p < 0,001$) höher als nachts (35,3 % der Gesamtmesszeit). Im Gegensatz dazu ist sowohl der prozentuale Anteil des Leichtschlafs (nachts: 33,1 % der Messzeit; tagsüber: 24,3 % der Messzeit) als auch der des Tiefschlafs (nachts: 30,1 % der Gesamtmesszeit; tagsüber: 17,0 % der Gesamtmesszeit) nachts signifikant ($p < 0,001$) höher als tagsüber. Aufgrund dieser Ergebnisse ist von einem

circadianen Rhythmus des Schlafverhaltens von Fohlen auszugehen. Zum Schlafverhalten von erwachsenen Pferden gibt es einige Studien zum polysomnographischen Schlafverhalten der Pferde während der Nacht (Williams et al. 2008, Kalus 2014), aber nur wenige zum Schlafverhalten während des Tages (Ruckebusch 1972). In dieser Studie wurde nachgewiesen, dass erwachsene Pferde während eines 24-Stunden-Tages 88 % der Zeit im Wachzustand verbringen und 12 % schlafend. Während der Nacht allerdings wurden 71,4 % im Wachzustand und 28,6 % schlafend verbracht (Ruckebusch 1972). Somit kann die Aussage mehrere Autoren bestätigt werden, dass Fohlen mehr Zeit mit Schlafen verbringen als adulte Pferde (Williams et al. 2008, McGreevy 2012), der Anteil der Schlafphasen aber sowohl bei adulten Pferden als auch bei Fohlen nachts höher ist als tagsüber.

Im Zeitabschnitt zwischen 06.00 und 09.00 Uhr kommt es zu einem sprunghaften Anstieg des Wachzustandes an der Gesamtmesszeit und zu einer deutlichen Abnahme des prozentualen Anteils des Tiefschlafs an der Gesamtmesszeit. Auch die Dauer der Tiefschlafphasen nimmt in diesem Zeitabschnitt im Vergleich zum vorhergehenden Zeitabschnitt deutlich ab, wohingegen die Dauer der Wachphasen deutlich zunimmt. Des Weiteren nimmt die Häufigkeit der Leicht- und Tiefschlafphasen in Zeitabschnitt drei (zwischen 06.00 und 09.00 Uhr) im Vergleich zu Zeitabschnitt zwei (zwischen 03.00 und 06.00 Uhr) deutlich ab. Diese plötzlichen Veränderungen im 24-Stunden-Verlauf lassen darauf schließen, dass die Fohlen im Zeitabschnitt drei von den Stallarbeiten in ihrem Schlaf-Wach-Rhythmus gestört werden. Eine Empfehlung für die Zukunft ist, dass die Stallarbeiten im Fohlenstall auf den Zeitraum zwischen dem späten Vormittag und späten Nachmittag verlegt werden, um die Fohlen so wenig wie möglich in ihrem natürlichen Schlafverhalten zu stören.

Ein deutlicher Anstieg des prozentualen Anteils an Tief- und Leichtschlaf kann im Zeitabschnitt acht (zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht) bei einem gleichzeitigen Abfall des prozentualen Anteils des Wachzustandes verzeichnet werden. Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die wichtigste Schlafenszeit für die Fohlen zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht stattfindet. Daraus lässt sich ableiten, dass in Fohlenställen um spätestens 21.00 Uhr Stallruhe herrschen sollte. Da keines der Fohlen in einem Reitstall mit Personenverkehr stand, sondern alle Tiere in Privatställen untergebracht waren, ist davon auszugehen, dass die Hauptschlafenszeit nicht erst um 21.00 Uhr einsetzte, weil dann Ruhe im Stall einkehrte, sondern weil vermutet wird, dass das Schlafverhalten von Fohlen einem circadianen Rhythmus unterliegt. Diese

Vermutung wird vom Zeitpunkt des Sonnenuntergangs gestützt. So war der Sonnenuntergang im gemessenen Zeitraum von Anfang April 2018 um 19.42 Uhr bis Anfang Juli 2018 um 21.16 Uhr (Internet: <https://www.sunrise-and-sunset.com/de/sun/deutschland/muenchen/2018/juli>; Stand 23.02.2020).

Die von Tyler beschriebenen Ruhezeiten in den frühen Morgenstunden konnten in dieser Studie nicht bestätigt werden (Tyler 1972). So zeigten die Fohlen in der hier vorliegenden Studie in den frühen Morgenstunden (von 06.00 bis 09.00 Uhr), das geringste Ruheverhalten im Vergleich zum restlichen Tag. Da die Arbeitszeiten im Stall auf diesen Zeitraum fallen, ist anzunehmen, dass die Fohlen während dieses Zeitabschnittes in ihrem natürlichen Ruheverhalten gestört werden. Andererseits wird von Tyler (1972) beschrieben, dass die New-Forest Ponyfohlen während der Nacht im Wald keine guten Möglichkeiten hatten, sich niederzulegen. So besteht die Vermutung, dass die Fohlen die Zeit am frühen Morgen nutzten, um den Ruhebedarf der Nacht aufzuholen, sobald die Herde sich auf trockenem Grasland befand (Tyler 1972). Da die Fohlen in der hier vorliegenden Studie durchgehend saubere und reichlich mit Stroh eingestreute Boxen zur Verfügung hatten, konnten sie unabhängig von Umwelteinflüssen liegen und ruhen.

2.1.2.2. Dauer der jeweiligen Vigilanzstadien

Auffallend bei der Betrachtung der Dauer der jeweiligen Vigilanzstadienphasen ist der sprunghafte Anstieg der Dauer der Tiefschlafphasen zwischen den Zeitabschnitten sieben (zwischen 18.00 und 21.00 Uhr) und acht (zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht). Fraglich ist, ob dieser Anstieg der Dauer von einem circadianen Rhythmus gesteuert wird, oder ob die Fohlen ab 21.00 Uhr Ruhe im Stall hatten und somit ungestört schlafen konnten. Wie oben schon erwähnt, ist die Wahrscheinlichkeit eines circadianen Rhythmus hoch, da alle Fohlen in kleineren Privatställen gehalten wurden, in denen nur wenig Personenverkehr herrschte. Gegenläufig zu den Dauern der Tiefschlafphasen sind die Dauern der Wachphasen. Diese waren während der Nacht deutlich kürzer als während des Tages.

Da es bisher keine wissenschaftlichen Daten zu den Dauern der einzelnen Vigilanzstadienphasen bei Fohlen gibt, fehlen Vergleichswerte. Im Vergleich zu adulten Pferden dauern die Tiefschlafphasen mit durchschnittlich $4,4 \pm 1,4$ Minuten bei Fohlen deutlich länger. Bei erwachsenen Pferden gehen die Angaben zur Dauer einer Slow-Wave-Schlafphase auseinander. Williams et al. (2008) gaben an, dass eine SW-Schlafphase im Schnitt 205,1 Sekunden dauerte

(Williams et al. 2008), Wöhr et al. (2006) beobachteten SW-Schlafphasen, die länger als 40 Sekunden andauerten (Wöhr et al. 2006). In Anbetracht des vermehrten Schlafbedarfs der Fohlen verwundern diese Werte nicht.

Die REM-Schlafphasen bei den hier gemessenen Fohlen dauerten im Schnitt $0,7 \pm 0,3$ Minuten. Diese Dauer ist im Vergleich zu adulten Pferden sehr kurz, da deren REM-Schlafphasen zwischen 2,1 und 13,4 Minuten (Ruckebusch et al. 1970), bzw. zwischen drei und acht Minuten (Hale et al. 1980) oder ca. vier Minuten (Dallaire et al. 1974) andauern. Wie oben schon erwähnt, muss der geringe Anteil an REM-Schlaf bei Fohlen in weiteren polysomnographischen Studien überprüft werden.

2.1.2.3. Häufigkeiten der jeweiligen Vigilanzstadien

Auch zu der Häufigkeit des Vorkommens der unterschiedlichen Vigilanzstadien gibt es bisher bei Fohlen keine Angaben. Interessant ist, dass sich in der Gesamtheit der Vigilanzstadienwechsel keine Unterschiede im Tag-Nacht-Vergleich zeigen. Die Vermutung bestand, dass die Fohlen während der Nacht weniger Wechsel der Vigilanzstadien vollziehen als tagsüber. Der deutlichste Unterschied im Tag-Nacht-Vergleich konnte in Bezug auf die Häufigkeit von Wach- und Leichtschlafphasen festgestellt werden. Während des Tages wechselten die Fohlen ähnlich oft in Leichtschlaf (insgesamt 2418 Mal) und Wachzustand (insgesamt 2417 Mal). Während der Nacht dagegen, wechselten die Fohlen häufiger in den Leichtschlaf (insgesamt 1769 Mal) als in den Wachzustand (1397 Mal). Auch diese Ergebnisse lassen auf einen circadianen Schlafrhythmus der Fohlen schließen. Die nur kleinen Unterschiede in der Häufigkeit des Tiefschlafs bei Fohlen lassen sich durch die oben beschriebenen unterschiedlichen Dauern der einzelnen Tiefschlafphasen im Tag-Nacht-Vergleich erklären.

Güntner (2010) stellte bei erwachsenen Pferden im Schnitt $33,5 \pm 5,6$ Schlafstadienwechsel pro Stunde fest. Dieser Wert liegt deutlich über den hier beobachteten Vigilanzstadienwechseln. Die häufigsten Wechsel bei den Fohlen fanden zwischen 18.00 und 21.00 Uhr statt. In dieser Zeit wechselten die Fohlen im Schnitt $51,1 \pm 51,2$ Mal die Vigilanzstadien. Auf eine Stunde heruntergerechnet sind das ca. 17 Vigilanzstadienwechsel. Die Differenz der Werte zwischen adulten Pferden und Fohlen scheint extrem hoch zu sein.

2.2. Liegeverhalten

2.2.1. Prozentualer Anteil der Körperlagen

Die Ergebnisse, dass Fohlen um Mitternacht am meisten liegen (Murase et al. 2018), konnte in der hier vorliegenden Studie bestätigt werden. So verbringen die Fohlen in dem Zeitabschnitt von 00.00 Uhr bis 03.00 Uhr mit $49,7 \pm 11,3$ % in Seitenlage und $19,8 \pm 8,4$ % in Brustlage im Vergleich zu den anderen Zeitabschnitten die meiste Zeit liegend. Dass die Hauptliegezeit im Zeitraum zwischen Mitternacht und 03.00 Uhr stattfindet, gleicht dem Liegeverhalten der adulten Pferde (Dallaire et al. 1974, Keiper et al. 1980, Boyd et al. 1988, Hunter et al. 1989, Kalus 2014). Insgesamt verbrachten die Fohlen nachts signifikant ($p < 0,001$) mehr Zeit in Seitenlage als tagsüber, wohingegen bei der Brust-Bauch-Lage keine signifikanten ($p = 0,173$) Unterschiede im Tag-Nacht-Vergleich festgestellt werden konnten. Im Gegensatz zu erwachsenen Pferden, die vor Mitternacht nicht viel Zeit im Liegen verbringen (Pedersen et al. 2004), verbrachten die Fohlen auch im Zeitabschnitt acht (zwischen 21.00 Uhr und Mitternacht) mehr Zeit in Seitenlage als während der Zeitabschnitte des Tages. Im Gegensatz zu den hier vorliegenden Ergebnissen stellten Boyd et al. (1988) bei erwachsenen Pferden fest, dass diese tagsüber deutlich mehr Zeit in Brust-Bauch-Lage verbrachten als während der Nacht und dass bei der Seitenlage keine Unterschiede im Tag-Nacht-Vergleich festgestellt werden konnten (Boyd et al. 1988). Insgesamt lagen die Fohlen in der hier vorliegenden Studie mit durchschnittlich 53,1 % der Gesamtmesszeit ($19,4 \pm 7,5$ % in Brust-Bauch-Lage; $33,7 \pm 16,3$ % in Seitenlage) mehr als in anderen Studien (44,6 % der Gesamtmesszeit (Murase et al. 2018), 32,9 % der Gesamtmesszeit, davon 15,0 % in Seitenlage und 17,9 % in Brust-Bauch-Lage (Boy et al. 1979)). Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die Fohlen allein mit ihren Müttern waren und somit nicht durch andere Pferde gestört wurden, was auch bei erwachsenen Pferden angenommen wird (Fader 2002). Im Gegensatz dazu stellten andere Autoren fest, dass das Liegeverhalten in großen Gruppen deutlich höher war als das Liegeverhalten in Kleingruppen (Rose-Meierhöfer et al. 2010). Da die Pferde der Studien allerdings älter waren und nicht mehr zusammen mit ihren Müttern beobachtet wurden, bleibt es fraglich, ob die Ergebnisse auf die hier vorliegende Studie angewendet werden können. Des Weiteren hatten die Fohlen in der hier vorliegenden Studie eigene Boxen, die trocken und windgeschützt waren, im Vergleich zu anderen Studien, in denen die Tiere zum Teil nicht einmal Unterstände hatten. Auch waren die Boxen in der hier vorliegenden Studie sehr dick mit Stroh eingestreut, was den höheren prozentualen Anteil der

Gesamtliegezeit an der Gesamtmesszeit, im Gegensatz zu Studien, in denen keine Boxen oder eingestreute Liegeflächen zur Verfügung standen, erklären kann (Hunter et al. 1989).

Insgesamt verbrachten die Fohlen $19,4 \pm 7,5$ % der Gesamtmesszeit in Brust-Bauch-Lage und $33,7 \pm 16,4$ % der Gesamtmesszeit in Seitenlage. In der Studie von Crowell-Davis (1994) verbrachten die Fohlen 31,8 % der Gesamtmesszeit liegend, was prozentual die zweithäufigste Verhaltensweise war (Crowell-Davis 1994). Der deutliche prozentuale Unterschied zwischen den beiden Studien lässt sich dadurch erklären, dass Crowell-Davis' (1994) Messungen tagsüber zwischen 05.00 Uhr und 21.00 Uhr stattfanden. Während des Tages (in der hier vorliegenden Studie zwischen 06.00 Uhr und 21.00 Uhr) verbrachten die Fohlen 25,5% in Seitenlage und 18,5% in Brust-Bauch-Lage, womit diese trotzdem noch deutlich mehr lagen, als die Fohlen in der Studie von Crowell-Davis (1994). Die wahrscheinlichste Erklärung hierfür ist wiederum, dass die Fohlen allein mit ihren Müttern in Boxen gehalten wurden und ständig gut eingestreute Liegeflächen zur Verfügung hatten. Außerdem mussten sich die Mütter zur Nahrungssuche und Nahrungsaufnahme nicht bewegen, wodurch die Fohlen ihnen nicht folgen mussten, sondern liegen bleiben konnten. Murase et al. (2018) stellten in ihrer Studie einen Liegeanteil von 44,6 % der Zeit im 24-Stundenverlauf fest (Murase et al. 2018). Diese Ergebnisse entsprechen in etwa den hier vorliegenden Werten. Der etwas kleinere Anteil der Liegephasen lässt sich eventuell auf die Zeit zurückführen, die die Fohlen bei Murase et al. auf dem Paddock verbrachten.

2.2.2. Dauer der Liegephasen

Die Dauer der Liegephasen wurde aus der Anzahl der jeweiligen 30-Sekunden-Epochen abgeleitet. Daraus ergibt sich keine sekundengenaue Beobachtung der Verhaltensweisen der Fohlen. Nichts desto trotz ist die Dauer der jeweiligen Körperlagephasen als Richtwert anzunehmen, da die Abweichung maximal 14 Sekunden sein kann und diese Werte bei der 24-Stunden-Beobachtung keinen Unterschied machen.

Crowell-Davis (1994) beobachtete bei Welsh-Pony-Fohlen, dass Liegephasen oft länger als 15 Minuten andauerten (Crowell-Davis 1994). Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Die durchschnittliche Dauer einer Brust-Bauch-Liegephase war $3,4 \pm 1,2$ Minuten, eine Seitenlagephase dauerte im Durchschnitt $8,3 \pm 3,6$ Minuten. Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede in der Messzeit ist, dass sich die Fohlen in der hier vorliegenden Studie immer

hinlegen konnten und somit ihre Liegephasen nicht voll ausschöpfen mussten.

Angaben zu geschlechterspezifischen Unterschieden im Liegeverhalten der Fohlen widersprechen sich in der vorhandenen Literatur. So liegen Stutfohlen mit 42 % im Vergleich zu Hengstfohlen mit 20 % bei McGreevy (2012) deutlich mehr, wohingegen bei Murase et al. (2018) Hengstfohlen mit 45,6 % mehr lagen als die Stutfohlen mit 42,5 %. Auch bei adulten Pferden gibt es in der Literatur verschiedene Angaben zu geschlechterabhängigem Liegeverhalten. So lagen Wallache signifikant ($p < 0,005$) mehr als Stuten (Fader 2002), wohingegen bei Kownacki et al. (1978) die Stuten 3,6 % pro Tag lagen und die Hengste nur 2,4 % (Kownacki et al. 1978). Aufgrund der niedrigen Anzahl der in dieser Studie gemessenen Fohlen wurde auf die Beachtung der Geschlechter verzichtet.

Die durchschnittliche Dauer der Stehphasen betrug in dieser Studie $3,4 \pm 1,0$ Minuten (mind. 1,4 Minuten; max. 4,6 Minuten). In der Studie von Tateo et al. (2013) zeigten die vier Tage alten Fohlen eine durchschnittliche Dauer der jeweiligen Stehvorgänge von drei Minuten. Diese Zeitangaben decken sich somit. Insgesamt standen die Fohlen bei Tateo et al. insgesamt 174 Minuten während eines 24-Stunden-Beobachtungsintervalls, was 12,1 % der Gesamtmesszeit entspricht (Tateo et al. 2013). In der hier vorliegenden Studie nahm das Stehverhalten durchschnittlich 32,1 % der Gesamtmesszeit ein. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse kann sein, dass Tateo et al. (2013) eine größere Anzahl an Verhaltensweisen beschrieben. So nahmen in ihrer Studie das Fressen (insgesamt 37 Minuten), die Interaktion (insgesamt 32 Minuten), das Spielen (insgesamt 36 Minuten) und das Belecken von Gegenständen (23 Minuten) insgesamt 8,9 % der Zeit ein. Da in der hier vorliegenden Studie keine weitere Unterteilung des Stehens stattgefunden hat, ist es schwierig, die Zeitangaben miteinander zu vergleichen. Nichts desto trotz nahm in der hier vorliegenden Studie die Körperlage Stehen mit durchschnittlich 32,1 % der Zeit einen größeren Anteil der Gesamtmesszeit als bei Tateo et al. (2013) ein (Tateo et al. 2013).

Auffallend im Tagesverlauf ist der deutliche Anstieg ($p < 0,001$) des prozentualen Anteils an der Gesamtmesszeit zwischen 06.00 und 09.00 Uhr der Körperlage Stehen im Vergleich zum vorhergehenden Zeitabschnitt. Im gleichen Zeitabschnitt sinkt der prozentuale Anteil der Körperlage Seitenlage an der Gesamtmesszeit im Vergleich zum vorhergehenden Zeitabschnitt signifikant ($p = 0,005$). Vermutet wird eine Störung der Fohlen durch die Stallarbeit, die in den Morgenstunden in jedem der Ställe stattfand. Alternativ kann auch der Sonnenaufgang bzw. der Helligkeitsgrad einen Einfluss auf das Steh- und

Liegeverhalten der Fohlen haben. Eine Veränderung des prozentualen Anteils der Brust-Bauch-Lage und des Trinkens an der Gesamtmesszeit konnte in diesem Zeitfenster nicht beobachtet werden.

Der Zusammenhang zwischen Häufigkeit der Körperlagenwechsel und durchschnittlicher Dauer der einzelnen Körperlagen ist auffallend. So zeigte „Finest Little Romeo“ (Fohlen Nr. 5) insgesamt die meisten Körperlagenwechsel und die häufigsten Stehphasen, gleichzeitig aber auch die durchschnittlich kürzeste Dauer der einzelnen Stehphasen im 24-Stundenverlauf. Anzunehmen ist, dass die Länge der jeweiligen Schlafphasen und Körperlagen an die Häufigkeit der Körperlagenwechsel angepasst ist. Möglich wäre aber auch, dass ein häufiger Schlafstadienwechsel die Körperlagenwechsel bedingt. Fraglich bleibt auch, ob die Wechsel abhängig von äußeren Faktoren waren oder nicht. Innerhalb des Sichtfeldes der Kameras konnten keine Auffälligkeiten beobachtet werden, Einflussfaktoren außerhalb der Kamera sind jedoch nicht auszuschließen.

2.2.3. Liegeverhalten im Vergleich zu adulten Pferden

Bei Kalus (2014) betrug die Gesamtliegezeit pro Nacht im Schnitt $132,0 \pm 57,5$ Minuten pro Nacht, was 32,5 % der Messdauer entspricht. Bei den Pferden konnten zwischen einer und max. fünf Liegephasen pro Nacht beobachtet werden. $84,7 \pm 15,5$ % der Gesamtliegezeit wurde in Brustlage, $15,3 \pm 15,6$ % in Seitenlage verbracht (Kalus 2014). Auch in Verhaltensstudien bei Ponys wurden bei jedem Pony sechs bis sieben Liegephasen pro Nacht festgestellt, wobei das Liegen in Seitenlage 20,0 % der Gesamtliegezeit ausmachte. Der Hauptteil der Liegephasen wurde nach Mitternacht beobachtet (Dallaire et al. 1974). In anderen Studien konnten bei keinem oder nicht bei allen Pferden Seitenlage festgestellt werden (Williams et al. 2008, Güntner 2010). In der hier vorliegenden Studie konnte bei allen Fohlen das Liegen in Seitenlage festgestellt werden. Dieser Unterschied zwischen adulten Pferden und Fohlen kann auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein. Die Fohlen in dieser Studie wurden während der Messungen in ihrem gewohnten Umfeld belassen, wodurch keine Eingewöhnungsphase an die neuen Umwelteinflüsse zu beachten war. Bei adulten Pferden besteht die Vermutung, dass sie erst nach einer bestimmten (individuellen) Zeit in ihrer neuen Umgebung ein normales Liegeverhalten zeigen (Ruckebusch et al. 1970, Dallaire 1986). Ein weiterer Punkt, dass Fohlen sich wesentlich öfter ins Liegen begeben ist der, dass bei gesunden Fohlen keine orthopädischen Probleme zu erwarten sind. Da das Ablegen ein komplexer Vorgang des neuromuskulären und orthopädischen Systems ist, wurde

beschrieben, dass adulte Pferde mit ebensolchen Problemen weniger oder gar keine Liegephasen einnehmen (Littlejohn et al. 1972). Eine andere Theorie ist, dass Fohlen kein so ausgeprägtes Fluchtverhalten wie erwachsene Pferde zeigen, bzw. sich auf ihre Mütter verlassen, die die Umgebung beobachten, wodurch die Fohlen mehr Zeit zum Liegen haben.

2.2.4. Liegeverhalten der Fohlen und Stuten zueinander

In der hier vorliegenden Studie konnte ein sehr nahes Aneinanderliegen der Fohlen und Stuten beobachtet werden. Teilweise kam es auch zu direktem Körperkontakt zwischen Fohlen und Stute, was bei anderen Autoren (Crowelldavis 1994) als Seltenheit beschrieben wird. Als Grund hierfür können die räumlichen Gegebenheiten der Boxen in Erwägung gezogen werden, die weniger Platz boten als freie Ausläufe. Andererseits waren alle Boxen groß genug, um ein weiter entferntes Ablegen von Stute und Fohlen zueinander zu ermöglichen. Eine weitere Vermutung ist, dass die Bindung zwischen Mutter und Stute noch weiter gestärkt werden muss, und somit auch während des Liegens Körperkontakt gesucht wird (Crowell-Davis 1994).

2.2.5. Liegeverhalten der Mutterstuten

Ein längeres Liegen oder tiefes Schlafen wie bei Alemann et al. 2008 beschrieben wurde, konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht beobachtet werden (Aleman et al. 2008). Crowell-Davis et al. (1994) beobachteten sehr wenig Liegen bei Mutterstuten. In ihrer Studie verbrachten die Mütter zwischen 0% und 2% liegend (Crowell-Davis 1994). In der hier vorliegenden Studie war das Liegeverhalten der Mütter sehr unterschiedlich. Es liegen keine genaueren Informationen über die Mutterstuten vor, wodurch eine genaue Bewertung des Liegeverhaltens schwierig erscheint. Interessant wären weitere Studien, in denen das Liegeverhalten von Stuten vor und nach der Geburt ihrer Fohlen beobachtet wird. Denkbar sind zwei Theorien: Eine Möglichkeit ist, dass sich die Stuten, die sich auch ohne Fohlen selten hinlegen, wie bei Güntner beschrieben (Güntner 2010), auch mit Fohlen keine Liegephasen zeigen. Gründe hierfür können, wie bei Fuchs (2017) beschrieben, orthopädische Probleme, das Alter oder Probleme beim Stallmanagement sein, die sich durch das Fohlen nicht ändern. Eine andere Vermutung ist, dass sich Stuten, um ihr Fohlen zu beschützen und zu ernähren, nicht mehr ablegen. Interessant hierbei ist der Faktor, ob es sich um Erstgebärende oder mehrfach Gebärende handelt. Nicht zu vernachlässigen ist auch der Charakter der Stuten.

2.2.6. Aufstehvorgang

Wie auch bei erwachsenen Pferden beschrieben (Schäfer 1993, Kalus 2014), stehen Fohlen nach den Liegephasen auf, wölben den Hals auf, winkeln den Kopf stark an, strecken die Vorderbeine weit nach vorne und Biegen den Rücken durch. Dieses Verhaltensmuster konnte in dieser Studie allerdings nur beobachtet werden, wenn die Fohlen aus eigener Entscheidung aufstanden. Bei ungeplantem Aufstehen, wie z.B. Erschrecken durch Umweltreize oder Unachtsamkeiten der Mutterstuten, konnte dieses Verhalten nicht beobachtet werden, sondern wurde von Wegrennen und sofortigem Aufsuchen der Mutterstuten ersetzt. Es wird vermutet, dass das beschriebene Strecken und Dehnen nach dem Aufstehen als Komfortverhalten zu werten ist.

2.3. Abhängigkeit von Körperlagen und Vigilanzstadien

In vorhergehenden Studien wurde das Dösen im Stehen bereits am ersten Lebenstag beobachtet (Boyd et al. 1988) und in der ersten Lebenswoche mit 3,1 % der Zeit angegeben (Crowell-Davis 1994). In der hier vorliegenden Studie konnte auch Leichtschlaf im Stehen beobachtet werden. Die Fohlen verbrachten durchschnittlich $3,8 \pm 5,0$ % der Zeit, die sie im Leichtschlaf verbrachten, stehend. Somit decken sich die Werte der hier vorliegenden Studie mit denen vorangegangener Arbeiten. In dieser Studie verbrachten die Fohlen $1,9 \pm 2,5$ % des Tiefschlafs stehend. Im Gegensatz dazu verbringen adulte Pferde $47,3 \pm 15,9$ % der Gesamtschlafenszeit im Stehen (Kalus 2014). Auch andere Autoren erklären, dass das Dösen im Stehen ein Erwachsenenverhalten ist (Crowell-Davis 1994).

Die REM-Schlafartigen Gehirnströme im Stehen sind letztendlich nicht dem richtigen REM-Schlaf zuzuordnen, da dieser aufgrund des absoluten Muskeltonusverlustes nicht im Stehen stattfinden kann (Fuchs 2017). In der Literatur konnten keine Angaben zu Gehirnströmen während des Urinierens oder des Kotabsatzes gefunden werden.

Laut Ruckebusch et al. (1970) kommt SW-Schlaf im Stehen nur dann vor, wenn die Pferde neu in einer Umgebung sind und sich nicht hinlegen wollen (Ruckebusch et al. 1970). Diese Annahme wurde durch Williams et al. (2008) bestätigt, da die Pferde in deren Studie SW-Schlaf vor allem im Stehen wahrnahmen. Da in der vorliegenden Studie SW-Schlaf vor allem im Liegen (zu 60,1 % in Seitenlage, zu 36,0 % in Brustlage und nur zu 3,8 % im Stehen) wahrgenommen wurde, ist davon auszugehen, dass die Fohlen ihr physiologisches Schlafverhalten zeigten, da sie sich in vertrauter Umgebung

befanden und durch die Messapparatur nur wenig gestört wurden. Tatsächlich wurden die wenigen Tiefschlafphasen, welche im Stehen verbracht wurden, direkt nach der Manipulation an den Fohlen (Anbringen der Elektroden, Verbessern der Messapparatur) beobachtet. Diese Beobachtung unterstützt die These, dass Pferde sich nur ablegen, wenn sie sich sicher fühlen (Saikin 1911), was wiederum bestätigt, dass sich die Fohlen trotz der Messapparatur in ihrem normalen Verhalten nicht beeinflussen ließen.

Ruckebusch et al. (1970) beobachteten, dass adulte Pferde in gewohnter Umgebung die meiste Zeit des SW-Schlafs in Brust-Bauch-Lage verbrachten und REM-Schlaf in Seitenlage (Ruckebusch et al. 1970). Auch bei Kalus (2014) wurden im Schnitt 22.7 ± 11.1 % der Zeit des SW-Schlafs in Brust-Bauch-Lage und $3,1 \pm 2,4$ % in Seitenlage verbracht (Kalus 2014). Im Gegensatz dazu konnte bei den hier vorliegenden Messungen festgestellt werden, dass ein Großteil des SW-Schlafs ($73,4 \pm 12,9$ %) in Seitenlage verbracht wurde und nur $24,6 \pm 11,9$ % des SW-Schlafs in Brust-Bauch-Lage. Auch der Leichtschlaf wurde bei den zehn Fohlen dieser Studie zu $49,4 \pm 14,8$ % in Seitenlage und zu $22,9 \pm 6,7$ % in Brust-Bauch-Lage verbracht. Die Annahme, dass man Vigilanzstadien aufgrund von Körperlagen feststellen kann (Boy et al. 1979), ist somit widerlegt.

2.4. Saugverhalten

2.4.1. Gehirnströme während des Saugvorganges

Auffallend bei der Betrachtung der Hirnströme während des Saugaktes war, dass zu Beginn der Saugakte, vor allem während des Anrüstens, das Vigilanzstadium Wach im EEG zu erkennen war. Sobald der Kopf der Fohlen in ruhiger Position verweilte und ein konstantes Saugen zu beobachten war, stellte sich im EEG das Vigilanzstadium Leichtschlaf ein. Die Autorin vermutet, dass sich die Fohlen, sobald ein konstanter Milchfluss gegeben war, entspannten und in den Leichtschlaf fielen. Als Unterscheidungsmerkmal zum echten Leichtschlaf lässt sich der höher gespannte Muskeltonus werten, der aber sehr gleichmäßig erscheint.

Elektroencephalographische Studien zum Wiederkauen bei Schafen und Ziegen zeigen, dass die Tiere während des Wiederkauens leichtschlafähnliche Gehirnströme zeigen (Bell 1960, Ruckebusch et al. 1962, Bell et al. 1973). Auch aufgrund dieser Erkenntnisse ist das Leichtschlafähnliche EEG-Bild während des Saugens der Fohlen als Entspannung der Fohlen zu werten.

Bei zwei der zehn Fohlen („Lilli“ (Fohlen Nr. 10) und „Bruno“ (Fohlen Nr. 9))

konnten während des Saugens tiefschlafähnliche Gehirnströme festgestellt werden. Diese machten bei „Lilli“ 0,2 % und bei „Bruno“ 0,3 % der Zeit, die mit Saugen verbracht wurde, aus. Auch REM-schlafartige Gehirnströme wurden bei zwei der zehn Fohlen („Lilli“ und „Feu Susa“) gemessen. Auch diese betrugen nur einen Bruchteil der mit Trinken verbrachten Zeit (0,2 % und 0,3 %). Aufgrund der geringen Anteile der tief- und REM-Schlafähnlichen Gehirnströme sind diese als Artefakte anzusehen und bei der Beschreibung der EEG-Wellen zu vernachlässigen.

2.4.2. Quantitative Bestimmung des Saugverhaltens

Die Definition einer Saugphase wurde in der Vergangenheit oft unterschiedlich vorgenommen. In der hier vorliegenden Studie wurde eine 30-Sekunden-Epoche als Saugphase deklariert, wenn das Fohlen über 50 % der Zeit mit dem Maul an der Zitze der Mutter war. Eine ähnliche Auffassung der Saugvorgänge wird in mehreren anderen Studien beschrieben, wodurch sich die quantitativen Werte gut vergleichen lassen (Duncan et al. 1984, Crowelldavis 1985, Smith-Funk et al. 1992, Heitor et al. 2008).

In vorangegangenen Studien wurden durchschnittlich insgesamt 175 Minuten innerhalb von 24 Stunden mit Trinken verbracht (Tateo et al. 2013). In der hier vorliegenden Studie nahm das Trinken durchschnittlich $14,8 \pm 6,6$ % der Gesamtmesszeit ein. Somit ähneln sich die beiden Ergebnisse und können als Richtwert für gesunde Fohlen genutzt werden. Die Angaben von Ousey (2008), dass Fohlen im Schnitt 12 Minuten pro Stunde saugen, scheint auf 24 Stunden gerechnet sehr hoch, da es 20 % der Gesamtmesszeit entsprechen würde (Ousey 2003). Wenn sich diese Angabe allerdings nur auf den Tag beziehen würde, lägen in der hier vorliegenden Studie ähnliche Ergebnisse vor, da die Fohlen tagsüber 16,9 % der Gesamtmesszeit mit Trinken verbrachten. Sehr niedrig dagegen erscheint die Angabe von Nicol et al. (2005), dass Fohlen nur 3 % der Messzeit mit Saugen verbringen. Selbst wenn man das „Nuckeln“ und Anrücken miteinbezieht, werden nur 4,5 % der Messzeit mit Saugen verbracht. Zum einen wurden die Fohlen über mehrere Zeiträume von zehn Minuten beobachtet und nicht konstant über einen längeren Zeitraum, zum anderen erfolgt in der Studie keine Angabe über das Alter der Fohlen (Nicol et al. 2005). Aufgrund dessen eignen sich diese Ergebnisse nicht zum Vergleich mit vorliegenden Beobachtungen.

In der hier vorliegenden Studie dauerte ein Saugvorgang im 24-Stundenverlauf durchschnittlich $1,8 \pm 0,3$ Minuten ($105,0 \pm 23,3$ Sekunden). In anderen Studien

dauerten die Trinkvorgänge mit durchschnittlich $66,0 \pm 13,7$ Sekunden (Heitor et al. 2008), $1,0 \pm 0,1$ Minuten (Crowell-Davis et al. 1985), $86,4 \pm 6,1$ Minuten (Barber et al. 1994), $73,8 \pm 28,9$ Sekunden (Komarkova et al. 2013), $77,0 \pm 11,1$ Sekunden (Smith-Funk et al. 1992), 78 Sekunden (Tyler 1972) und sind somit deutlich kürzer als in der hier vorliegenden Studie. Die naheliegendste Vermutung ist, dass die unterschiedliche Länge der Saugvorgänge auf die unterschiedlichen Haltungsformen zurückzuführen ist. So lebten die Pferde aller anderen Studien in Herdenverbänden, wohingegen die Stuten in der hier vorliegenden Studie allein mit ihren Fohlen in Boxen lebten. Zwar wird in den vorhergehenden Studien beschrieben, dass die Saugvorgänge, die durch die Fohlen selbst beendet wurden, länger dauerten als die Saugvorgänge, die durch die Mütter oder andere Herdenmitglieder beendet wurden (Pluháček et al. 2010, Komarkova et al. 2013). Trotzdem ist es denkbar, dass die Fohlen gezwungen waren, mehr Milch in weniger Zeit aufzunehmen, um nicht von den anderen Herdenmitgliedern gestört zu werden, wobei jedoch die Länge des Saugaktes keine Aussagekraft über die aufgenommene Menge an Milch hat (Cameron et al. 1999). Ein anderer Grund für die längeren Saugphasen in der hier vorliegenden Studie kann sein, dass die Fohlen nicht nur aus Hunger, sondern auch aus Komfortverhalten saugen (Tyler 1972, Crowell-Davis et al. 1985, Barber et al. 1994), und sie dies ungestört und beliebig lange machen können, wenn sie allein mit ihren Müttern in einer Box sind. Auch rassespezifische Unterschiede können ursächlich für die unterschiedlichen Ergebnisse sein, da alle bisherigen Studien Herden beobachteten, die aus einer Pferderasse bestanden (Crowell-Davis 1985, Smith-Funk et al. 1992, Barber et al. 1994, Heitor et al. 2008, Komárková et al. 2011).

Bei zwei Studien konnte eine längere durchschnittliche Dauer der jeweiligen Saugphasen im Vergleich zu der hier vorliegenden Studie festgestellt werden. Dies war zum einen bei Vollblütern, bei welchen die Saugvorgänge während der ersten Lebenswoche durchschnittlich 147 Sekunden dauerten (Carson et al. 1983), zum anderen bei italienischen Kaltblütern, bei deren Fohlen eine Trinkphase im Schnitt etwas über drei Minuten dauerte (Tateo et al. 2013). Auch hier könnte eine Rassedisposition vorliegen. Auch die unterschiedlichen Haltungsformen können zu den unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die italienischen Kaltblüter wurden in einem großen Laufstall zusammen mit anderen Mutterstuten und Fohlen gehalten. Da Fohlen auch nach Umweltreizen bzw. zum Komfortverhalten an den Eutern der Mütter saugen, können die längeren Trinkphasen als Schutz suchen gewertet werden. In der hier vorliegenden Studie

war ein Aufsuchen des Euters nach jeder Manipulation am Fohlen (Anbringen der Elektroden, Batteriewechsel etc.) zu erkennen. Auch auf die Ruhephasen folgte in den meisten Fällen ein Saugvorgang. Dieses Verhalten wurde schon in früheren Studien beschrieben (Tyler 1972, Schoen et al. 1976, Usagawa et al. 1998). Es bestätigt die Theorie anderer Autoren (Crowell-Davis et al. 1985, Barber et al. 1994), die das Saugverhalten nicht nur als Nahrungsaufnahme, sondern auch als Komfortverhalten werten.

In der hier vorliegenden Studie konnten im 24-Stundenverlauf durchschnittlich $99,9 \pm 14,5$ Saugphasen (Min. 79,5 Saugphasen; Max. 118,5 Saugphasen) beobachtet werden. Das entspricht im Schnitt $12,5 \pm 1,7$ Saugphasen pro Zeitabschnitt von drei Stunden. In vorangegangenen Studien wurden zum Teil ähnlich viele Saugphasen mit $4,0 \pm 0,5$ Saugvorgänge pro Stunde (Crowelldavis 1985), vier Saugphasen pro Stunde (Tyler 1972, Bouwman et al. 1978) oder 88,2 Saugphasen pro Tag (Usagawa et al. 1998) festgestellt. Bei Usagawa et al. verbrachten die Fohlen die Zeit nachts in einer Box mit ihrer Mutter und tagsüber auf einem Paddock, auch hier allein mit ihren Müttern. Da die Umstände vergleichbar sind wie die der hier vorliegenden Studie, waren ähnliche Ergebnisse zu erwarten. In anderen Studien wurden weniger Saugvorgänge festgestellt als in der hier vorliegenden Studie. So wurden $13,0 \pm 5,0$ Saugvorgänge innerhalb von sechs Stunden (Komárková et al. 2011), 60 Saugphasen im 24-Stundenverlauf (Tateo et al. 2013), $3,3 \pm 0,7$ Saugphasen pro Stunde (Heitor et al. 2008) festgestellt. In diesen Studien waren die Fohlen zusammen mit ihren Müttern immer im Herdenverbund. Die geringere Frequenz an Saugphasen hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass Fohlen und Mutterstuten weniger ungestörte Zeit hatten als Fohlen, die allein mit ihren Müttern waren. In anderen Studien wiederum wurden mehr Saugvorgänge beobachtet. Dies war mit vier bis acht Saugphasen pro Stunde (Ousey 2003, Paradis 2012), sieben Saugphasen pro Stunde (Carson et al. 1983, Smith-Funk et al. 1992) und acht Saugphasen pro Stunde (Barber et al. 1994) der Fall. Bei der Bewertung der Häufigkeit des Saugens ist auch die Milchaufnahme der Fohlen zu beachten, da die Vermutung naheliegt, dass Fohlen, die in kurzer Zeit viel Milch aufnehmen können, weniger häufig saugen müssen als Fohlen, deren Mütter nicht viel Milch geben oder Fohlen, die zu schwach sind, um während eines Saugvorgangs genügend Milch aufzunehmen. Auch hier stellt sich als Problem wiederum die Kontrolle der Menge der aufgenommenen Milch dar, da, wie oben schon erwähnt, kein Zusammenhang zwischen der Dauer des Saugvorganges und der aufgenommenen Menge an Milch besteht (Cameron et

al. 1999).

Ebenso wie von anderen Autoren beschrieben (Duncan et al. 1984, Usagawa et al. 1998), konnte auch in der hier vorliegenden Studie eine höhere Frequenz ($p = 0,002$) des Saugens tagsüber im Vergleich zur Nacht beobachtet werden. Diese Tatsache ist vermutlich den nachts deutlich höheren Anteilen an Leicht- und Tiefschlaf, sowie den deutlich höheren Anteilen der Seitenlage und des signifikant verminderten Stehens geschuldet. Auffallend ist die erhöhte Frequenz der Saugphasen zwischen 18.00 und 21.00 Uhr bei gleichbleibender Dauer der Trinkphasen. Auch erreicht in diesem Zeitabschnitt der prozentuale Anteil der Trinkphasen an der Gesamtmesszeit mit $19,1 \pm 8,0 \%$ im 24-Stundenverlauf seinen Höhepunkt. Anzunehmen ist, dass die Fohlen in dem Zeitabschnitt des Tages bevor ihre Hauptschlafens- und Liegezeit beginnt, ihre Energiereserven auffüllen, um über die Nacht viel Zeit mit Schlafen zu verbringen. Wichtig zu beachten in der hier vorliegenden Studie ist der Fakt, dass bei der Dauer der Trinkphasen keine Unterschiede ($p = 0,269$) zwischen Tag und Nacht erkennbar waren. Aufgrund dieser Erkenntnisse ist vor allem bei der Handaufzucht von Fohlen in Zukunft zu beachten, dass zwar die Frequenz des Trinkens nachts niedriger ist als tagsüber, nicht aber die Dauer der jeweiligen Trinkvorgänge.

3. Ausblick

Das physiologische Schlafverhalten von Fohlen mittels polysomnographischen Messungen wurde bisher nur sehr unzureichend untersucht. Durch die hier vorliegenden Untersuchungen und Ergebnisse konnte zum einen eine Methode der nichtinvasiven Elektrodenanbringung beim Fohlen etabliert werden, die sowohl im heimatischen Stall als auch in der Klinik anzuwenden ist. Zum anderen konnten Werte erfasst werden, die weiteren Studien als Grundlage für die Beurteilung des Schlafverhaltens von Fohlen dienen sollen. In weiteren Studien ist auf rassespezifische Unterschiede, verschiedene Haltungsformen und unterschiedliche Altersgruppen zu achten. Um genügend große Gruppen der gleichen Rasse, des gleichen Alters und unter gleichen Haltungsbedingungen zu generieren, ist die Zusammenarbeit mit großen Gestüten oder Zuchtbetrieben sinnvoll.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen als Grundlage zur Auswertung von Fohlenschlaf dienen. Als langfristiges Ziel sind die frühzeitige Erkennung und prognostische Einordnung pathologischer Zustände zu nennen. Langfristig kann sich das EEG als diagnostische Möglichkeit für irreversible Hirnschäden oder Veranlagungen zu Krankheiten wie Epilepsie (Aleman et al. 2006) darstellen, die

den Fohlen lange Behandlungen und Schmerzen ersparen können. Ein weiterer Punkt für die Zukunft ist, die Besitzer aus wirtschaftlicher Sicht besser beraten zu können, wenn man frühzeitig einschätzen kann, wie hoch die prognostischen Chancen eines zum Beispiel zu früh geborenen Fohlens sind.

Wie bei erwachsenen Pferden schon geschehen, kann auch in Zukunft die Arzneimittelwirkung verschiedener Sedativa und Narkotika auf das ZNS der Fohlen mittels EEG überprüft werden. Auch dieser Punkt ist zum einen wichtig für das Tierwohl, indem Schmerzen frühzeitig aufgedeckt werden könnten, zum anderen für weitergehende Forschung der Pharmaindustrie.

Letztendlich ist auch die Optimierung der Haltungsbedingungen von Fohlen zu nennen, für die durch diese Arbeit bereits ein Grundstein gelegt wurde. So ist die Empfehlung, die aus den hier erhobenen Ergebnissen abgeleitet wurde, dass die Stallzeiten im Fohlenstall auf den Nachmittag gelegt werden und die Stallruhe spätestens um 21.00 Uhr beginnt.

Bei der Beobachtung des Trinkverhaltens konnte festgestellt werden, dass sich die Dauer der einzelnen Trinkvorgänge im Tag-Nacht-Vergleich nicht unterscheidet, wohingegen die Frequenz tagsüber höher ist als nachts. Die beobachteten Werte sollen als Orientierung für die Handaufzucht von Fohlen und zur Beurteilung des Trinkverhaltens dienen. Des Weiteren konnte ein beruhigender Effekt während des Saugens festgestellt werden, welcher in Zukunft für das Komfortverhalten der Fohlen und zu deren Beruhigung genutzt werden kann.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Polysomnographische Untersuchungen zum Schlafverhalten von Fohlen

In der hier vorliegenden Arbeit wurde zum ersten Mal das Schlafverhalten gesunder Fohlen in ihrem heimatlichen Umfeld über 48 Stunden polysomnographisch untersucht. Es wurden zehn gesunde Fohlen innerhalb ihrer ersten Lebenswoche mittels EEG, EOG, EMG und Videoüberwachung beobachtet. Ziel der Studie war es, ein Anbringungsschema der Elektroden beim Fohlen zu etablieren, Richtwerte für die Auswertung polysomnographischer Daten von Fohlen zu generieren und das physiologische Schlaf- und Liegeverhalten gesunder Fohlen aufzuzeichnen.

Zur Erfassung der polysomnographischen Daten wurde der Polysomnograph SOMNOscreenTM® der Firma SOMNOmedics, welcher mit einem speziell konstruierten Elektrodensystem versehen wurde, verwendet. Aufgrund der Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass die Gehirnströme der Fohlen ein anderes Erscheinungsbild aufweisen als die der erwachsenen Pferde. Das Elektroencephalogramm der Fohlen ist durch eine vorherrschende Frequenz von δ -Wellen über alle Vigilanzstadien hinweg geprägt. Im Wachzustand waren die Aufzeichnungen durch Artefakte in so hohem Maße überlagert, dass eine Auswertung des EEGs nicht möglich war. Für die Schlafstadien Leichtschlaf, Tiefschlaf und REM-Schlaf konnten aus artefaktfreien Sequenzen Messwerte generiert werden, die die Zuordnung von polysomnographischen Aufzeichnungen zu den verschiedenen Vigilanzstadien möglich machen.

Aufgrund der Auswertungen wird empfohlen, das Stadium des „Slow-Wave-Schlafes“ umzubenennen in „Tiefschlaf“, da sowohl die Hirnströme des Leichtschlafs als auch des Tiefschlafs der Fohlen zum größten Teil in die Definition des Slow-Wave-Schlafes fallen (mehr als 20% der Epoche in einem Amplitudenbereich $<75 \mu V$ und Frequenzen von 0,5-2 Hz). Die vier Vigilanzstadien der Fohlen sind demnach in Wachzustand, Leichtschlaf, Tiefschlaf und REM-Schlaf zu unterteilen.

Durch die Zuordnung konnten Daten über das Schlafverhalten der Fohlen erstellt werden, die den prozentualen Anteil der verschiedenen Vigilanzstadien an der Gesamtzeit, die Dauer der jeweiligen Vigilanzstadienphasen und die Häufigkeiten des Auftretens darlegen. Dazu wurde der 24-Stunden-Tag in acht Abschnitte unterteilt, die jeweils drei Stunden dauerten, um einen Verlauf des Schlafverhaltens zu erstellen. Auffallend war, dass bei den Fohlen kaum REM-

Schlaf nachgewiesen werden konnte. Dieser betrug insgesamt durchschnittlich nur $1,1 \pm 1,2$ % der Gesamtmesszeit. Insgesamt wurden durchschnittlich $48,8 \pm 14,0$ % der Gesamtmesszeit im Wachzustand, $27,6 \pm 7,5$ % der Gesamtmesszeit im Leichtschlaf und $22,5 \pm 9,1$ % der Gesamtmesszeit im Tiefschlaf verbracht. Eine Wachphase dauerte im Schnitt $3,5 \pm 1,4$ Minuten, eine Leichtschlafphase $1,8 \pm 0,4$ Minuten, eine Tiefschlafphase $4,4 \pm 1,4$ Minuten und eine REM-Schlafphase $0,7 \pm 0,3$ Minuten. Aufgrund der zeitlichen Verteilung der Hauptschlafphasen wird Stallruhe ab spätestens 21.00 Uhr in den Fohlenställen empfohlen. Des Weiteren sollten die Stallzeiten nach hinten verschoben werden, um die Fohlen nicht morgens aus ihrem normalen Schlafrhythmus zu reißen.

Des Weiteren wurden durch Videoaufzeichnungen die Körperlagen der Fohlen bestimmt, wodurch das Liege- und Trinkverhalten genau erfasst werden konnte. Am meisten Zeit der Gesamtmesszeit mit $33,7 \pm 16,4$ % während des 24-Stundenverlaufs wurde in Seitenlage verbracht. $32,1 \pm 12,5$ % der Gesamtmesszeit wurden stehend, $19,4 \pm 7,5$ % der Gesamtmesszeit wurden in Brust-Bauch-Lage und $14,8 \pm 6,6$ % der Gesamtmesszeit wurden trinkend verbracht. Innerhalb von 48 Stunden zeigten die Fohlen durchschnittlich $381,0 \pm 62,9$ Wachphasen, $419,0 \pm 88,3$ Leichtschlafphasen, $137 \pm 29,6$ Tiefschlafphasen und $39,0 \pm 30,9$ REM-Schlafphasen.

Zuletzt wurden auch die Gehirnströme während des Saugens am Euter der Mutter erfasst. Dabei konnte festgestellt werden, dass alle Fohlen im Laufe des Trinkvorganges leichtschlafähnliche Gehirnströme zeigen. Vermutet wird, dass die leichtschlafähnlichen Gehirnströme einsetzen, sobald ein konstanter Milchfluss vorhanden ist. Aufgrund des Hirnstrombilds während des Saugaktes ist davon auszugehen, dass das Saugen einen beruhigenden Effekt auf die Fohlen hat.

Es konnte gezeigt werden, dass die Hirnstrombilder gesunder Fohlen deutlich von denen adulter Pferde abweichen. Die angegebenen Grenzwerte sollen als Richtlinien für die Auswertung polysomnographischer Messungen bei Fohlen dienen. Durch die quantitativen Beschreibungen des Schlaf- und Liegeverhaltens der Fohlen werden Referenzwerte für das physiologische Verhalten gesunder Fohlen in ihrem normalen Umfeld aufgezeigt. Anhand der erhobenen Daten zum Trinkverhalten der Fohlen können Empfehlungen zur optimalen quantitativen Versorgung der Fohlen innerhalb ihrer ersten Lebenswoche formuliert werden. Die Studie soll als Grundlage für weitere Untersuchungen zum Schlafverhalten und eventuellen Pathologien in den Gehirnströmen von Fohlen dienen.

VII. SUMMARY

Polysomnographic Study on the Sleep Behavior of Foals

In this dissertation the sleep behaviour of healthy foals in their usual environment was examined via polysomnography over the course of 48 hours. Ten foals were observed in their first week of life through EEG, EOG, EMG and video surveillance. The goal of the study was to establish a scheme for attaching electrodes on foals, creating reference points for the evaluation of polysomnographic data of foals and to record the physiological sleep- and lying-behaviour of healthy foals.

For collecting the polysomnographic data the polysomnograph SOMNOscreenTM® produced by the company SOMNOmedics was used, which has a custom-built electrode system. The data shows, that the brain waves of foals differ from the ones of adult equines. The electroencephalogram of foals was characterized by a prevalent frequency of δ -waves in all stages of vigilance. During alert state the records were distorted by artefacts, making an interpretation of the EEGs impossible. For the sleep states light sleep, deep sleep and REM sleep the measured data was generated from artefact free sequences, enabling the association of polysomnographic data to various states of vigilance.

Based on the evaluation of the data it is recommended, to rename the state of „Slow-Wave-Sleep“ to „Deep-Sleep“, since the brain waves of foals in light sleep and in deep sleep are both mostly part of the definition of slow-wave-sleep (more than 20 % of the period in an amplitude range $<75 \mu\text{V}$ and frequencies of 0,5-2 Hz). Hence, for foals, the four stages of vigilance in foals are wakefulness, light sleep, deep sleep and REM-sleep.

As a result of the association, it was possible to create data on the sleep behaviour of foals, which illustrates the percentage of the different stages of vigilance of the total measurement time, the duration of the individual stages of vigilance and the amount of their occurrences. Therefore the 24-hour day was divided into eight segments, all lasting three hours, in order to create a history of sleep behaviour. Remarkably, only very little REM-sleep was detected for foals. It only amounted up to an average of $1,1 \pm 1,2 \%$ of the total testing time. In total $48,8 \pm 14,0 \%$ of the total measurement time was spent in wakefulness, $27,6 \pm 7,5 \%$ of the total testing time was spent in light sleep and $22,5 \pm 9,1 \%$ of the total testing time were spent in deep sleep. An alert phase generally lasts $3,5 \pm 1,4$ minutes, a light-sleep-phase lasts $1,8 \pm 0,4$ minutes a deep-sleep phase

lasts $4,4 \pm 1,4$ minutes and a REM-sleep-phase lasts $0,7 \pm 0,3$ minutes. Due to the temporal distribution of the main sleeping phases, it can be derived that stables should be closed by 09.00 p.m.. Moreover, opening times should be delayed, to not interrupt the regular sleep cycle of foals.

Furthermore, video recordings showed the foals' body position, which made it possible to precisely capture the lying- and drinking behaviour. The largest part of the total measurement time was spent in lateral recumbency, representing $33,7 \pm 6,4$ % of 24 hours. $32,1 \pm 12,5$ % of the total measurement time was spent standing, $19,4 \pm 7,5$ % of the total measurement time was spent in sternal recumbency and $14,8 \pm 6,6$ % of the total measurement time was spent drinking. During the course of 48 hours the foals showed $381,0 \pm 62,9$ wake phases on average, $419,0 \pm 88,3$ light sleep phases, $137 \pm 29,6$ deep sleep phases and $39,0 \pm 30,9$ REM-sleep phases.

Most recently the brain waves during suckling at the udder of the mare were recorded. Thereby it was detected that all foals show light-sleep-resembling brain waves during suckling. It is suspected that these light-sleep-resembling brain waves start as soon as a constant flow of milk exists. Based on the electroencephalogram during the suckling, it is assumed, that suckling has a calming effect on foals.

The results of this study have shown, that the electroencephalograms of healthy foals differ considerably from those of adult horses. The stated limit values should serve as guidelines for the interpretation of polysomnographic measurements of foals in future. The quantitative description of sleep- and lying behaviour of foals produced reference values for the physiological behaviour of healthy foals in their natural environment. Based on the collected data on drinking behaviour of foals recommendations with regards to an ideal quantitative supply of foals in their first week of life can be made. The study should serve as a basis for further studies on the sleep behaviour and potential pathologies in the brain waves of foals.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Adams, R. and I. Mayhew (1984). "Neurological examination of newborn foals." *Equine veterinary journal* 16(4): 306-312.

Aleman, M., L. C. Gray, D. C. Williams, T. A. Holliday, J. E. Madigan, R. A. LeCouteur and K. G. Magdesian (2006). "Juvenile idiopathic epilepsy in Egyptian Arabian foals: 22 cases (1985–2005)." *Journal of veterinary internal medicine* 20(6): 1443-1449.

Aleman, M., D. Williams and T. Holliday (2008). "Sleep and sleep disorders in horses". *AAEP Proceedings*.

Almubarak, S. and P. K. Wong (2011). "Long-term clinical outcome of neonatal EEG findings." *Journal of Clinical Neurophysiology* 28(2): 185-189.

Aoyama, M., N. Yoshimura, S. Sugita and R. Kusunose (2004). "Effects of used bedding straw and drying it in sunshine on lying behavior in stable horses." *Journal of equine science* 15(3): 67-73.

Auer, J., J. Amend, H. Garner, D. Hutcheson and C. Salem (1979). "Electroencephalographic responses during volatile anesthesia in domestic ponies: a comparative study of isoflurane, enflurane, methoxyflurane, and halothane." *Journal of Equine Medicine and Surgery* (3): 130-134.

Baird, J. (1973). "Neonatal maladjustment syndrome in a thoroughbred foal." *Australian veterinary journal* 49(11): 530-534.

Barber, J. A. and S. L. Crowell-Davis (1994). "Maternal behavior of Belgian (*Equus caballus*) mares." *Applied Animal Behaviour Science* 41(3-4): 161-189.

Baumgartner, M. (2012). „Liegeverhalten von Pferden im Offenlaufstall auf unterschiedlichen Bodenmaterialien (Gummimatten, Späne und Sand)“, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Bell, F. (1960). "The electroencephalogram of goats during somnolence and rumination." *Animal Behaviour* 8: 39-42.

Bell, F. and T. Itabashi (1973). "The electroencephalogram of sheep and goats with special reference to rumination." *Physiology & Behavior* 11(4): 503-514.

Berger, J. (1979). "Weaning conflict in desert and mountain bighorn sheep (*Ovis canadensis*): an ecological interpretation." *Zeitschrift für Tierpsychologie* 50(2): 188-200.

Berger, J. (1986). "Wild horses of the Great Basin: social competition and population size". University of Chicago Press: 326.

Berry, R. B., R. Brooks, C. E. Gamaldo, S. Hardling, C. Marcus, B. Vaughn (2018). "The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications". American Academy of Sleep Medicine.

Bertone, J. J. (2006). "Excessive drowsiness secondary to recumbent sleep deprivation in two horses." *Veterinary Clinics: Equine Practice* 22(1): 157-162.

Binnie, C. and P. Prior (1994). "Electroencephalography." *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 57(11): 1308-1319.

Blinowska, K. and P. Durka (2006). "Electroencephalography (eeg)." *Wiley encyclopedia of biomedical engineering*.

BMELV (2009). „Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten.“ Bonn, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Referat Tierschutz.

Boe, A. J., L. L. M. Koch, M. K. O'Brien, N. Shawen, J. A. Rogers, R. L. Lieber, K. J. Reid, P. C. Zee and A. Jayaraman (2019). "Automating sleep stage classification using wireless, wearable sensors." *npj Digital Medicine* 2(1): 1-9.

Bouwman, H. and W. v. d. Schee (1978). "Composition and production of milk

from Dutch warmblooded saddle horse mares." *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde* 40(1-6): 39-53.

Boy, V. and P. Duncan (1979). "Time-budgets of Camargue horses I. Developmental changes in the time-budgets of foals." *Behaviour* 71(3-4): 187-201.

Boyd, L. E., D. A. Carbonaro and K. A. Houpt (1988). "The 24-hour time budget of Przewalski horses." *Applied Animal Behaviour Science* 21(1-2): 5-17.

Brake, S. C., S. D. Jayne, R. Sullivan and M. Hofer (1982). "The role of intraoral and gastrointestinal cues in the control of sucking and milk consumption in rat pups." *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology* 15(6): 529-541.

Brehm, W., H. Gehlen, B. Ohnesorge, A. Wehrend, O. Dietz and B. Huskamp (2016). „Handbuch Pferdepraxis“. Stuttgart, Enke.

Burla, J.-B., C. Rufener, I. Bachmann, L. Gygax, A. Patt and E. Hillmann (2017). "Space allowance of the littered area affects lying behavior in group-housed horses." *Frontiers in veterinary science* 4: 23.

Cameron, E. Z. (1998). "Is suckling behaviour a useful predictor of milk intake? A review." *Animal Behaviour* 56(3): 521-532.

Cameron, E. Z. and W. L. Linklater (2000). "Individual mares bias investment in sons and daughters in relation to their condition." *Animal Behaviour* 60(3): 359-367.

Cameron, E. Z., K. J. Stafford, W. L. Linklater and C. J. Veltman (1999). "Suckling behaviour does not measure milk intake in horses, *Equus caballus*." *Animal behaviour* 57(3): 673-678.

Carno, M.-A., L. A. Hoffman, J. A. Carcillo and M. H. Sanders (2003). "Developmental stages of sleep from birth to adolescence, common childhood sleep disorders: overview and nursing implications." *Journal of Pediatric Nursing*

18(4): 274-283.

Carskadon, M. A. and A. Rechtschaffen (2011). "Monitoring and staging human sleep." *Principles and practice of sleep medicine* 5: 16-26.

Carson, K. and D. Wood-Gush (1983). "Behaviour of thoroughbred foals during nursing." *Equine veterinary journal* 15(3): 257-262.

Chaplin, S. and L. Gretgrix (2010). "Effect of housing conditions on activity and lying behaviour of horses." *Animal* 4(5): 792-795.

Cousillas, H., M. Oger, C. Rochais, C. Pettoello, M. Ménoret, S. Henry and M. Hausberger (2017). "An ambulatory electroencephalography system for freely moving horses: An innovating approach." *Frontiers in veterinary science* 4: 57.

Crowell-Davis, S. L. (1986). "Spatial relations between mares and foals of the Welsh pony (*Equus caballus*)." *Animal behaviour* 34(4): 1007-1015.

Crowell-Davis, S. L. (1994). "Daytime rest behavior of the Welsh pony (*Equus caballus*) mare and foal." *Applied Animal Behaviour Science* 40(3-4): 197-210.

Crowell-Davis, S. L., K. A. Houpt and J. Carnevale (1985). "Feeding and drinking behavior of mares and foals with free access to pasture and water." *Journal of animal science* 60(4): 883-889.

Crowell, D. H., L. E. Kapuniai, R. B. Boychuk, M. J. Light and J. E. Hodgman (1982). "Daytime sleep stage organization in three-month-old infants." *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 53(1): 36-47.

Crowelldavis, S. L. (1985). "Nursing behavior and maternal aggression among welsh pones (*Equus Caballus*)". *Applied Animal Behaviour Science* 14(1): 11-25.

Cubero-Rego, L., J. Ricardo-Garcell, T. Harmony and M. Corsi-Cabrera (2019). "How to Obtain Reliable Visual Event-related Potentials in Newborns." *Journal of visualized experiments: JoVE*(152).

D'Alessandro, A. G., G. Martemucci and D. Casamassima (2007). "Behavioural profile during suckling period in Martina Franca breed jennies reared under semi-extensive conditions." *Applied animal behaviour science* 106(1-3): 107-124.

Daftary, A. S., H. E. Jalou, L. Shively, J. E. Slaven and S. D. Davis (2019). "Polysomnography reference values in healthy newborns." *Journal of Clinical Sleep Medicine* 15(03): 437-443.

Dallaire, A. (1986). "Rest behavior." *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 2(3): 591-607.

Dallaire, A. and Y. Ruckebusch (1974). "Sleep and wakefulness in the housed pony under different dietary conditions." *Canadian Journal of Comparative Medicine* 38(1): 65.

Dallaire, A. and Y. Ruckebusch (1974). "Sleep patterns in the pony with observations on partial perceptual deprivation." *Physiology & behavior* 12(5): 789-796.

De Gennaro, L. and M. Ferrara (2003). "Sleep spindles: an overview." *Sleep medicine reviews* 7(5): 423-440.

De Weerd, A. W. and R. A. van den Bossche (2003). "The development of sleep during the first months of life." *Sleep medicine reviews* 7(2): 179-191.

Dreitz, V. (2018). "Workshop Schlafstadienbestimmung AASM." Randersacker, SOMNOmedics GmbH.

DuBois, C., E. Zakrajsek, D. Haley and K. Merkies (2015). "Validation of triaxial accelerometers to measure the lying behaviour of adult domestic horses." *Animal* 9(1): 110-114.

Duenas-Meza, E., M. A. Bazurto-Zapata, D. Gozal, M. González-García, J. Durán-Cantolla and C. A. Torres-Duque (2015). "Overnight polysomnographic characteristics and oxygen saturation of healthy infants, 1 to 18 months of age, born and residing at high altitude (2,640 meters)." *Chest* 148(1): 120-127.

Duncan, P. (1980). "Time-budgets of Camargue horses II. Time-budgets of adult horses and weaned sub-adults." *Behaviour* 72(1-2): 26-48.

Duncan, P., P. H. Harvey and S. M. Wells (1984). "On lactation and associated behaviour in a natural herd of horses." *Animal Behaviour* 32(1): 255-263.

Ekström, P. M., C. E. Short and T. R. Geimer (1993). "Electroencephalography of Detomidine-Ketamine-Halothane and Detomidine-Ketamine-Isoflurane Anesthetized Horses During Orthopedic Surgery A Comparison." *Veterinary Surgery* 22(5): 414-418.

Fader, C. (2002). „Ausscheide-und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung“, Technische Universität München.

Fader, C. and H. Sambras (2004). "Das Ruheverhalten von Pferden in Laufställen." *Tierärztl Umsch* 59: 320-327.

Fattinger, S., O. G. Jenni, B. Schmitt, P. Achermann and R. Huber (2014). "Overnight changes in the slope of sleep slow waves during infancy." *Sleep* 37(2): 245-253.

Feist, J. D. (1971). "Behavior of feral horses in the Pryor Mountain wild horse range." PhD Thesis, University of Michigan.

Feist, J. D. and D. R. McCullough (1976). "Behavior patterns and communication in feral horses." *Z Tierpsychol* 41(4): 337-371.

Ficca, G., I. Fagioli and P. Salzarulo (2000). "Sleep organization in the first year of life: Developmental trends in the quiet sleep–paradoxical sleep cycle." *Journal of Sleep Research: Original Articles* 9(1): 1-4.

Fisch, B. (1997). "Fisch and Spehlman's EEG Primer". New York, Elsevier: 123-138.

Fletcher, I. (1971). "Relationships between frequency of suckling, lamb growth

- and post-partum oestrous behaviour in ewes." *Animal behaviour* 19(1): 108-111.
- France, K. G. and N. M. Blampied (1999). "Infant sleep disturbance: Description of a problem behaviour process." *Sleep Medicine Reviews* 3(4): 265-280.
- Frank, M. G., N. P. Issa and M. P. Stryker (2001). "Sleep enhances plasticity in the developing visual cortex." *Neuron* 30(1): 275-287.
- Fraser, A. F. and D. M. Broom (1997). "Farm animal behaviour and welfare". CAB international, Wallingford.
- Freisler, U., E. Quendler and C. Winckler (2014). „Validierung der automatischen Erfassung des Liege- und Bewegungsverhaltens von Pferden in Offenlaufställen“. Universität für Bodenkultur Wien.
- Fuchs, C. (2017). „Narkolepsie oder REM-Schlafmangel?“. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Garner, H., J. Amend, J. Rosborough, L. Geddes and J. Ross (1972). "Electrodes for recording cortical electroencephalograms in ponies." *Laboratory animal science* 22(2): 262-265.
- Ghilardi, H. M. F. and M. Massimini (2004). "Local sleep and learning." *Nature* 430: 78-81.
- Glade, M. (1984). "Social sleeping behavior in young horses." *Equine Practice (USA)* 6(5): 10-14.
- Grabow, J., R. Anslow and J. Spalatin (1969). "Electroencephalographic recordings with multicontact depth probes in a horse." *American journal of veterinary research* 30(7): 1239-1243.
- Graven, S. N. and J. V. Browne (2008). "Sleep and brain development: the critical role of sleep in fetal and early neonatal brain development." *Newborn and Infant Nursing Reviews* 8(4): 173-179.

Grigg-Damberger, M., D. Gozal, C. L. Marcus, S. F. Quan, C. L. Rosen, R. D. Chervin, M. Wise, D. L. Picchiatti, S. H. Sheldon and C. Iber (2007). "The visual scoring of sleep and arousal in infants and children." *Journal of Clinical Sleep Medicine* 3(02): 201-240.

Groome, L. J., L. S. Bentz and K. P. Singh (1995). "Behavioral state organization in normal human term fetuses: the relationship between periods of undefined state and other characteristics of state control." *Sleep* 18(2): 77-81.

Großheim, A., S. Rose-Meierhöfer and G. Hoffmann (2017). „Beobachtung des Tagesablaufes einer gemischten Herde in einem Offenlaufstall“. Hochschule Neubrandenburg.

Güntner, K.-U. (2010). „Polysomnographische Untersuchung zum Schlafverhalten des Pferdes“. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Haga, H. A. and N. I. Dolvik (2005). "Electroencephalographic and cardiovascular variables as nociceptive indicators in isoflurane-anaesthetized horses." *Veterinary Anaesthesia Analgesia* 32(3): 128-135.

Hale, L. and S. Huggins (1980). "The electroencephalogram of the normal "grade" pony in sleep and wakefulness." *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 66(2): 251-257.

Hänninen, L., J. P. Mäkelä, J. Rushen, A. M. de Passillé and H. Saloniemi (2008). "Assessing sleep state in calves through electrophysiological and behavioural recordings: A preliminary study." *Applied Animal Behaviour Science* 111(3-4): 235-250.

Harris, C. D. (2005). "Neurophysiology of sleep and wakefulness." *Respiratory care clinics of North America* 11(4): 567-586.

Hauschildt, V. (2008). „Zum Ruheverhalten von Pferden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Liegeflächenmaterialien in Ruheräumen einer bestehenden Gruppenhaltungsanlage“. na.

Heitor, F. and L. Vicente (2008). "Maternal care and foal social relationships in a herd of Sorraia horses: Influence of maternal rank and experience." *Applied animal behaviour science* 113(1-3): 189-205.

Hirt, A., C. Maisack and J. Moritz (2016). "Tierschutzgesetz". Verlag Franz Vahlen.

Hoffmann, G. (2008). „Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen Bewegungsangeboten“. Universitätsbibliothek Giessen.

Holliday, T. A. and C. Williams (2003). "Advantages of digital electroencephalography in clinical veterinary medicine, 2." *Veterinary Neurology & Neurosurgery Journal* 5(1).

Houpt, K. A., M. F. O'Connell, T. A. Houpt and D. A. Carbonaro (1986). "Night-time behavior of stabled and pastured peri-parturient ponies." *Applied Animal Behaviour Science* 15(2): 103-111.

Huber, R. and J. Born (2014). "Sleep, synaptic connectivity, and hippocampal memory during early development." *Trends in cognitive sciences* 18(3): 141-152.

Hunter, L. and K. Houpt (1989). "Bedding material preferences of ponies." *Journal of animal science* 67(8): 1986-1991.

Iber, C. and C. Iber (2007). "The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications". American Academy of Sleep Medicine Westchester, United States

Jeffcott, L. and P. Rossdale (1979). "A radiographic study of the fetus in late pregnancy and during foaling." *Journal of reproduction and fertility. Supplement*(27): 563-569.

Johnson, C. B., S. S. Young and P. M. Taylor (1994). "Analysis of the frequency spectrum of the equine electroencephalogram during halothane anaesthesia." *Research in Veterinary Science* 56(3): 373-378.

Kales, A. and A. Rechtschaffen (1968). "A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects". United, Bethesda, Md., U.S. National Institute of neurological Diseases and Blindness, Neurological Information Network, 1968.

Kalus, M. (2014). „Schlafverhalten und Physiologie des Schlafes beim Pferd auf der Basis polysomnographischer Untersuchungen“. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Karenina, K., A. Giljov and Y. Malashichev (2018). "Lateralization of mother-infant interactions in wild horses." Behavioural Processes 148: 49-55.

Kästner, S. (2011). "Die Anwendung von Lokalanästhetika beim Pferd–Pharmakologische und rechtliche Grundlagen." Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere 39(02): 117-122.

Keenan, S. and M. Hirshkowitz (2011). "Monitoring and staging human sleep." Principles and practice of sleep medicine 5: 1602-1609.

Keiper, R. R. and M. A. Keenan (1980). "Nocturnal activity patterns of feral ponies." Journal of mammalogy 61(1): 116-118.

Komárková, M., J. Bartošová (2013). "Lateralized suckling in domestic horses (*Equus caballus*)." Animal Cognition 16(3): 343-349.

Komárková, M., J. Bartošová and J. Dubcová (2011). "Effect of mares' dominance rank on suckling behaviour in the loose housed domestic horses." Applied animal behaviour science 133(1-2): 54-59.

Kownacki, M., E. Sasimowski, M. Budzynski, T. Jezierski, M. Kapron, B. Jelen, M. Jaworska, R. Dziedzic, A. Seweryn and Z. Slomka (1978). "Observations of the twenty four hours rhythm of natural behaviour of Polish primitive horse bred for conservation of genetic resources in a forest reserve." Genetica polonica 19(1): 61-77.

Krapp, A. (2007). „Der Einfluss verschiedener Einstreumaterialien im

Liegebereich einer Gruppenhaltungsanlage auf das Liegeverhalten und das Ausscheideverhalten von Pferden“. na.

Kuhne, F. (2004). „Tages-und Jahresrhythmus ausgewählter Verhaltensweisen von Araberpferden in ganzjähriger Weidehaltung: unter besonderer Berücksichtigung der Klima-und Fütterungsbedingungen“. Freie Universität Berlin.

Lacombe, V., M. Podell, M. Furr, S. Reed, M. Oglesbee, K. Hinchcliff and C. Kohn (2001). "Diagnostic validity of electroencephalography in equine intracranial disorders." *Journal of veterinary internal medicine* 15(4): 385-393.

Lapras, M., R. Florio, L. Joubert, J. Oudar, J. Guillon and C. Hannoun (1968). "Electroclinical study of meningo-encephalo-myelitis in horses due to equino-human (West Nile) arbovirus isolated in Camargue." *Journal de medecine de Lyon* 49(150): 1423.

Lewin, W. (1998). „Eine Methode zur nichtinvasiven EEG-Ableitung am wachen, stehenden Pferd“. Freie Universität Berlin.

Lewis, M. J., D. C. Williams and C. H. Vite (2011). "Evaluation of the electroencephalogram in young cats." *American journal of veterinary research* 72(3): 391-397.

Littlejohn, A. and R. Munro (1972). "Equine recumbency." *Veterinary Research* 90(4): 83-85.

Louis, J., C. Cannard, H. Bastuji and M.-J. Challamel (1997). "Sleep ontogenesis revisited: a longitudinal 24-hour home polygraphic study on 15 normal infants during the first two years of life." *Sleep* 20(5): 323-333.

Maierl, J., G. Weissengruber, C. Peham and H. E. König (2012). „Statik und Dynamik. Anatomie der Haussäugetiere.“ H. E. König and H. Liebich. Stuttgart, Schattauer GmbH. 5: 275-279.

Manton, A.-D. and T. Richter (2004). „Eine Untersuchung des individuellen

Ruheverhaltens von Pferden im Liegebereich eines Offenlaufstalls“.

Marley, E. and B. Key (1963). "Maturation of the electrocorticogram and behaviour in the kitten and guinea-pig and the effect of some sympathomimetic amines." *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 15(4): 620-636.

Martin, R., N. McMeniman and K. Dowsett (1992). "Milk and water intakes of foals sucking grazing mares." *Equine veterinary journal* 24(4): 295-299.

Mayhew, L. (1988). "Neurological and neuropathological observations on the equine neonate." *Equine Veterinary Journal* 20: 28-33.

McGreevy, P. (2012). "Equine behavior: a guide for veterinarians and equine scientists". Elsevier Health Sciences, Saunders, London.

Miller, S. M., C. E. Short and P. M. Ekstrom (1995). "Quantitative electroencephalographic evaluation to determine the quality of analgesia during anesthesia of horses for arthroscopic surgery." *American Journal of Veterinary Research* 56(3): 374-379.

Mills, D., S. Eckley and J. Cooper (2000). "Thoroughbred bedding preferences, associated behaviour differences and their implications for equine welfare." *Animal Science* 70(1): 95-106.

Mindell, J. A., J. A. Owens and M. A. Carskadon (1999). "Developmental features of sleep." *Child and adolescent psychiatric clinics of North America* 8(4): 695-725.

Mirmiran, M., Y. G. Maas and R. L. Ariagno (2003). "Development of fetal and neonatal sleep and circadian rhythms." *Sleep medicine reviews* 7(4): 321-334.

Mirmiran, M., J. Scholtens, N. Van de Poll, H. Uylings, J. Van der Gugten and G. Boer (1983). "Effects of experimental suppression of active (REM) sleep during early development upon adult brain and behavior in the rat." *Developmental Brain Research* 7(2-3): 277-286.

Monod, N., N. Pajot and S. Guidasci (1972). "The neonatal EEG: statistical studies and prognostic value in full-term and pre-term babies." *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 32(5): 529-544.

Morrissey, M. J., S. Duntley, A. Anch and R. Nonneman (2004). "Active sleep and its role in the prevention of apoptosis in the developing brain." *Medical hypotheses* 62(6): 876-879.

Muggenthaler, K., M. H. Zeitler-Feicht, A.-C. Mühlbauer, E. Kilian and R. Klaus (2010). „Sägespäne versus Liegematten–Untersuchungen zum Ausruh-und Ausscheideverhalten von Pferden in der Liegehalle von Mehrraumaußenlaufställen mit Auslauf“. Technische Universität München.

Murase, H., A. Matsui, Y. Endo, F. Sato and T. Hada (2018). "Changes of lying behavior in Thoroughbred foals influenced by age, pasturing time, and weather conditions." *Journal of equine science* 29(3): 61-66.

Mysinger, P., R. Redding, J. Vaughan, R. Purohit and J. Holladay (1985). "Electroencephalographic patterns of clinically normal, sedated, and tranquilized newborn foals and adult horses." *American journal of veterinary research* 46(1): 36-41.

Naylor, J. and R. Bell (1985). "Raising the orphan foal." *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 1(1): 169-178.

Nicol, C. J. and A. J. Badnell-Waters (2005). "Suckling behaviour in domestic foals and the development of abnormal oral behaviour." *Animal Behaviour* 70(1): 21-29.

Ninomiya, S., M. Aoyama, Y. Ujiie, R. Kusunose and A. Kuwano (2008). "Effects of bedding material on the lying behavior in stabled horses." *Journal of equine science* 19(3): 53-56.

Nuwer, M. R. (1998). "Assessing digital and quantitative EEG in clinical settings." *Journal of clinical neurophysiology* 15(6): 458-463.

Obergfell, J. (2013). „Einfluss von Strukturelementen auf das Liegeverhalten von Pferden in Gruppenhaltung unter Berücksichtigung des Aggressionsverhaltens“. Universität Leipzig.

Otto, K. and C. Short (1991). "Cerebral responses in horses to halothane and isoflurane anaesthesia: EEG power spectrum analysis and differences in arteriovenous oxygen content." *Journal of Veterinary Anaesthesia* 18: 95-99.

Ousey, J. (2003). "Feeding the newborn foal in health and disease." *Equine Veterinary Education* 15(S6): 50-54.

Paradis, M. R. (2012). "Feeding the orphan foal". *Proceedings of the 58th Annual Convention of the AAEP*.

Pedersen, G. R., E. Sondergaard and J. Ladewig (2004). "The influence of bedding on the time horses spend recumbent." *Journal of Equine Veterinary Science* 24(4): 153-158.

Penzhorn, B. (1984). "A long-term study of social organisation and behaviour of Cape mountain zebras *Equus zebra zebra*." *Zeitschrift für Tierpsychologie* 64(2): 97-146.

Pirkelmann, H., L. Ahlswede and M. Zeitler-Feicht (2008). "Pferdehaltung". Technische Universität München, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Pluháček, J., L. Bartoš and J. Bartošová (2010). "Mother–offspring conflict in captive plains zebra (*Equus burchellii*): suckling bout duration." *Applied animal behaviour science* 122(2-4): 127-132.

Pluháček, J., J. Bartošová and L. Bartoš (2010). "Suckling behavior in captive plains zebra (*Equus burchellii*): sex differences in foal behavior." *Journal of animal science* 88(1): 131-136.

Pollitt, E., B. Consolazio and F. Goodkin (1981). "Changes in nutritive sucking during a feed in two-day-and thirty-day-old infants." *Early human development* 5(2): 201-210.

Pollmann, U. (2003). "Einfluss der Strukturierung des Liegebereichs einer Gruppenauslaufhaltung auf das Verhalten der Pferde." Tagungsband der DVG-Fachgruppe Tierschutzrecht und Tierzucht, Erbpathologie und Haustiergenetik: 71-75.

Purohit, R., P. Mysinger and R. Redding (1981). "Effects of xylazine and ketamine hydrochloride on the electroencephalogram and the electrocardiogram in the horse." American journal of veterinary research 42(4): 615-619.

Raabymagle, P. and J. Ladewig (2006). "Lying behavior in horses in relation to box size." Journal of Equine Veterinary Science 26(1): 11-17.

Ransom, J. I. and B. S. Cade (2009). "Quantifying equid behavior—a research ethogram for free-roaming feral horses."

Rashek, V. (1976). "Peculiarities of feeding and feeding behaviour in young wild asses on the Barsa Kelmes island (Aral sea)." University of Nebraska.

Riegel, R. J. (2006). „Bild-Text-Atlas zur Anatomie und Klinik des Pferdes: Bewegungsapparat und Lahmheit“. Bd. 1, Schlütersche.

Rifa, H. (1985). "Activity patterns of feral Asturcon ponies during the breeding season. Poster". 19th Int. Ethological Conf., Toulouse, France.

Robert, J. E. (1982). "Development of sleep spindle bursts during the first year of life." Sleep 5(1): 39-46.

Roffwarg, H. P., J. N. Muzio and W. C. Dement (1966). "Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle." Science 152(3722): 604-619.

Rose-Meierhöfer, S., K. Standke and G. Hoffmann (2010). "Auswirkungen verschiedener Gruppengrößen auf Bewegungsaktivität, Body Condition Score, Liege-und Sozialverhalten bei Jungpferden." Züchtungskunde 82: 282-291.

Rössner, W. (1970). "Die Elektroenzephalographie (EEG) II. Methodisch-

technische Grundlagen, Anwendungsbereiche und Ausbildung“. Tierärztliche Umschau 25: 114-122.

Ruckebusch, Y. (1963). "Etude EEG et comportementale des alternances veille-sommeil chez l'âne". Comptes rendus des seances de la societe de biologie et des filiales 157: 840-844.

Ruckebusch, Y. (1972). "The relevance of drowsiness in the circadian cycle of farm animals." Animal behaviour 20(4): 637-643.

Ruckebusch, Y., P. Barbey and P. Guillemot (1970). "Les etats de sommeil chez le cheval (Equus caballus)." Paris Soc Biol Compt Rend. 31: 658-665.

Ruckebusch, Y. and J. Bost (1962). "Activite corticale au cours de la somnolence et de la rumination chez la chevre". Masson editeur 120 Blvd Saint-Germain, Paris.

Rutberg, A. T. and S. A. Greenberg (1990). "Dominance, aggression frequencies and modes of aggressive competition in feral pony mares." Animal Behaviour 40(2): 322-331.

Sadeh, A., A. Raviv and R. Gruber (2000). "Sleep patterns and sleep disruptions in school-age children." Developmental psychology 36(3): 291.

Saikin (1911). "Erholung und Schlaf des Pferdes." Jahrebericht der Veterinärmedizin.

Schabus, M. and M. Ameen (2019). "On the reliability of consumer devices for the assessment of sleep." Universität Reutlingen.

Schäfer, M. (1978). "Pferd." Nutztierethologie. Berlin-Hamburg: 214-248.

Schäfer, M. (1993). „Die Sprache des Pferdes: Lebensweise, Verhalten, Ausdrucksformen“. Franckh-Kosmos.

Scher, M. (2000). "Ontogeny of EEG sleep from the neonatal through infancy periods." *Lung biology in health and disease* 147: 39-62.

Schlender, K. (2012). "Methodischer Vergleich zur Erfassung von Verhaltensdaten beim Pferd unter besonderer Berücksichtigung einer hochpräzisen Echtzeitpositionserfassung." Justus-Liebig-Universität Gießen.

Schoen, A., S. Ams, B. Em and C. SE (1976). "Behavior of young shetland and welsh ponies (*Equus caballus*)". *Biol. Du comport*, 1(3): 199-216.

Seedorf, J., M. Schröder, L. Köhler and J. Hartung (2007). "Suitability of biocompost as a bedding material for stabled horses: respiratory hygiene and management practicalities." *Equine veterinary journal* 39(2): 129-135.

Shibagaki, M., S. Kiyono and K. Watanabe (1982). "Spindle evolution in normal and mentally retarded children: a review." *Sleep* 5(1): 47-57.

Short, C. and P. Ekstrom (1993). "Compressed spectral analysis of the EEG as an indicator of anesthetic quality during anesthesia for orthopedic surgery in the horses". *Proceedings of the annual convention of the American Association of Equine Practitioners (USA)*.

Smith-Funk, E. D. and S. Crowell-Davis (1992). "Maternal behavior of draft mares (*Equus caballus*) with mule foals (*Equus asinus* x *Equus caballus*)." *Applied Animal Behaviour Science* 33(2-3): 93-119.

Spruyt, K., R. J. Aitken, K. So, M. Charlton, T. M. Adamson and R. S. Horne (2008). "Relationship between sleep/wake patterns, temperament and overall development in term infants over the first year of life." *Early human development* 84(5): 289-296.

Steidele, N. (2011). „Beobachtungen einer Przewalski-Junggesellenherde im Jahresverlauf unter besonderer Berücksichtigung von Ruheverhalten und Rangordnung“. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Steinhart, P. (1937). „Der Schlaf des Pferdes“. Ludwig-Maximilians-Universität

München.

Sweeting, M., C. Houpt and K. Houpt (1985). "Social facilitation of feeding and time budgets in stabled ponies." *Journal of animal science* 60(2): 369-374.

Takeuchi, T., K. Sitizyo and E. Harada (1998). "Analysis of the electroencephalogram in growing calves by use of power spectrum and cross correlation." *American Journal of Veterinary Research* 59(6): 777-781.

Tateo, A., P. De Palo, B. Padalino and P. Centoducati (2009). "Artificially suckled IHDH (Italian Heavy Draught Horse) foals: in vivo performances and ethograms." *Italian Journal of Animal Science* 8(sup2): 724-726.

Tateo, A., A. Maggiolino, B. Padalino and P. Centoducati (2013). "Behavior of artificially suckled foals." *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research* 8(3): 162-169.

Ternman, E., M. Pastell, L. Hänninen, S. Agenäs and P. P. Nielsen (2018). "First-night effect on sleep time in dairy cows." *PloS one* 13(4).

Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18.Mai.2006 (BGBl. I S. 1206, 1313) das zuletzt durch Artikel 101 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1626) geändert wurde

Tóth, B. (2019). "Clinical and experimental investigation of the nervous system of neonatal foals. Neuroendocrin transition from foetal consciousness to perinatal life." *University of Veterinary Medicine, Budapest.*

Toth, B., M. Aleman, R. J. Brosnan, P. J. Dickinson, A. J. Conley, S. D. Stanley, N. Nogradi, C. D. Williams and J. E. Madigan (2012). "Evaluation of squeeze-induced somnolence in neonatal foals." *American journal of veterinary research* 73(12): 1881-1889.

Tyler, S. J. (1972). "The behaviour and social organization of the New Forest ponies." *Animal Behaviour Monographs* 5: 87-196.

Usagawa, T., M. Tagawa, Y. Asai, T. Osawa, A. Matsui and H. Fujikawa (1998). "Self-Maintenance Behaviour of Thoroughbred Foals in Nursing Period." Japanese Journal of Livestock Management 34(2): 43-49.

Van Someren, E., M. Mirmiran, N. Bos, A. Lamur, A. Kumar and P. Molenaar (1990). "Quantitative analysis of eye movements during REM-sleep in developing rats." Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology 23(1): 55-61.

Verma, P. and Y. Shukla (2019). "Study on changes of the EEG posterior alpha rhythm and delta wave in healthy newborn during one year of life at tertiary care hospital". Paripex-Indian Journal Of Research 8(11).

Watts, E. T., C. N. Johnson, S. Carver, C. Butler, A. M. Harvey and E. Z. Cameron (2020). "Maternal protectiveness in feral horses: responses to intraspecific and interspecific sources of risk." Animal Behaviour 159: 1-11.

Werhahn, H., E. F. Hessel, I. Bachhausen and H. F. Van den Weghe (2010). "Effects of different bedding materials on the behavior of horses housed in single stalls." Journal of equine veterinary science 30(8): 425-431.

Whittemore, C. T. (1980). "Lactation of the dairy co". Longman Group Ltd.

Wijnberg, I., M. Van Der Ree and P. Van Someren (2013). "The applicability of ambulatory electroencephalography (AEEG) in healthy horses and horses with abnormal behaviour or clinical signs of epilepsy." Veterinary Quarterly 33(3): 121-131.

Wille, E. (2010). "Vergleichende Untersuchungen von Pferden in zeitweiliger Anbindehaltung, Einzelboxenhaltung und Gruppenhaltung unter besonderer Berücksichtigung des Liegeverhaltens [Dissertation]." Hannover, Germany: Tierärztliche Hochschule.

Williams, D., M. Aleman, B. Tharp, D. Fletcher, P. H. Kass, E. Steffey, R. A. Lecouteur and T. Holliday (2012). "Qualitative and quantitative characteristics of the electroencephalogram in normal horses after sedation." Journal of veterinary

internal medicine 26(3): 645-653.

Williams, D. C., M. Aleman, T. Holliday, D. Fletcher, B. Tharp, P. H. Kass, E. Steffey and R. A. Lecouteur (2008). "Qualitative and quantitative characteristics of the electroencephalogram in normal horses during spontaneous drowsiness and sleep." *Journal of veterinary internal medicine* 22(3): 630-638.

Wischer, D. (2009). „Tages-und Jahresrhythmus ausgewählter Verhaltensweisen von Przewalskipferden unter seminaturalen Haltungsbedingungen: mit besonderer Berücksichtigung der Klimabedingungen“. Freie Universität Berlin.

Wöhr, A. and M. Erhard (2006). "Polysomnographische Untersuchungen zum Schlafverhalten des Pferdes." *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung*: 127-135.

Wollenweber, K. (2007). „Das Verhalten einer Pferdeherde (Liebenthaler Pferde) unter naturbelassenen Lebensbedingungen im Hinblick auf chronobiologische Aspekte, klimatische Einflüsse sowie deren Raumnutzung“. Freie Universität Berlin.

Zeitler-Feicht, M. (2008). "Handbuch Pferdeverhalten; Ursachen, Therapie und Prophylaxe von Problemverhalten, 2." Aufl. Stuttgart: Ulmer: 41-97.

Zeitler-Feicht, M. and V. Prantner (2000). "Lying resting behaviour of horses in loose housing systems with open yards." *Archiv für Tierzucht* 43(4): 327-335.

Zeitlhofer, J., G. Gruber, P. Anderer, S. Asenbaum, P. Schimicek and B. Saletu (1997). "Topographic distribution of sleep spindles in young healthy subjects." *Journal of sleep research* 6(3): 149-155.

Ziermann, S. (2006). „Energiesparmechanismen und Stoßdämpferfunktionen am Bewegungsapparat des Pferdes“. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Zschocke, S. and H.-C. Hansen (2011). „Klinische Elektroenzephalographie“. Springer-Verlag.

Żygierewicz, J., K. J. Blinowska, P. J. Durka, W. Szelenberger, S. Niemcewicz and W. Androsiuk (1999). "High resolution study of sleep spindles." *Clinical Neurophysiology* 110(12): 2136-2147.

IX. ANHANG

Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung
Veterinärstr. 13/R, 80539 München

Veterinärwissenschaftliches
Department
Lehrstuhl für Tierschutz,
Verhaltenskunde,
Tierhygiene und Tierhaltung

Veterinärstr. 13/R
80539 München

Doktorarbeit zum Schlafverhalten von Fohlen

Sehr geehrte (zukünftige) Fohlenbesitzer,

im Rahmen der Forschungen zum Ruhe- und Schlafverhalten von Pferden am Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung der tierärztlichen Fakultät der LMU München, möchten wir im Rahmen einer Doktorarbeit das Schlafverhalten von Fohlen untersuchen. Dafür sind wir auf Ihre Mitarbeit angewiesen! Wir suchen Fohlen, die 2018 geboren werden und Besitzer, die sich mit ihrem Fohlen an der kostenlosen Studie beteiligen wollen.

Um was geht es genau? Zum Schlafverhalten von erwachsenen Pferden gibt es bereits einige Forschungsarbeiten – zu dem von Fohlen bisher keine. Das Schlaf- und Ruheverhalten ist aber ein sehr wichtiger Indikator für das Wohlbefinden Ihres Pferdes. Störungen können zu einer schwerwiegenden Beeinträchtigung des Wohlbefindens von Pferden führen.

Die sich daraus ergebenden Fragestellungen sollen im Rahmen einer Doktorarbeit beantwortet werden. Diese sind u.A. die Frage, ob das Schlafverhalten von Fohlen mit dem von erwachsenen Pferden vergleichbar ist, und wie sich der Saugakt auf die Gehirnströme der Fohlen auswirkt.

Zeitgleich werden Gehirnströme, Muskelkontraktionen und Augenbewegungen mittels eines Polysomnographen über 48 Stunden gemessen. Dieses Gerät besteht aus einem Kästchen (Gewicht: 220g), welches mit einem speziellen Gurt am Hals des Fohlens angebracht wird und aus 10 Elektroden, welche am Kopf des Fohlens angeklebt werden.

Um einen guten Kontakt herstellen zu können,



Bild1 (C.FUCHS, 2017)

müssen 10 circa 1,5x1,5cm große Stellen am Kopf des Fohlens geschoren werden. Die Elektroden werden mit einem Spezialkleber auf die Haut aufgeklebt (Bild1). Um den sicheren Halt zu gewährleisten, werden die Elektroden mit AnimalPolster (spezielles Pflaster für Tiere) überklebt (Bild2). Letztendlich werden den Fohlen sogenannte „Horse FriendsSleezy“ (elastischer Brust- und Halsschutz) angezogen (Bild3).

Vorangegangene Doktorarbeiten zeigten, dass die Pferde durch den Polysomnographen in keinsten Weise beeinträchtigt werden und diesen gut tolerieren. Den Fohlen werden während des Anbringens und der Messungen keinerlei Schmerzen, Leiden oder Schäden verursacht.

Unsere Doktorandin, Frau Antonia Zanker, hat im März 2017 ihr Tiermedizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität in München abgeschlossen. Seit Mai arbeitet sie in der Klinik für Pferde in Wolfesing.

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie sich bei Frau Zanker melden würden, wenn Sie 2018 ein Fohlen erwarten und damit einverstanden wären, ihr Fohlen polysomnographisch messen zu lassen. Sobald die Studien abgeschlossen sind, erhalten Sie das Schlafprofil Ihres Tieres. Außerdem wird Ihr Fohlen vor Beginn der Messungen einer kostenlosen allgemeinen tiermedizinischen Untersuchung unterzogen, bei der festgestellt wird, ob das Fohlen gesund ist.

Für Rückfragen jeglicher Art stehen Frau Zanker oder ich natürlich jederzeit bereit.

Vielen Dank im Voraus und mit besten Grüßen

Antonia Zanker und Dr. Anna-Caroline Wöhr

Antonia Zanker

[REDACTED]

[REDACTED]

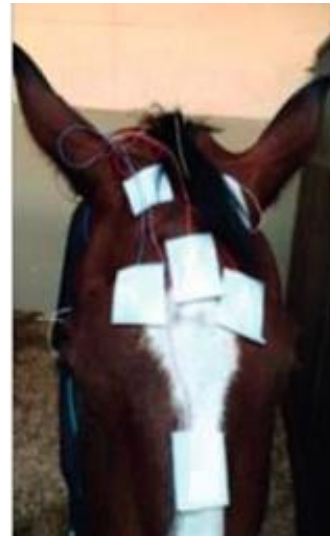


Bild2 (C.FUCHS, 2017)

Dr. Anna-Caroline Wöhr

FTA für Tierschutz – Tierschutzbeauftragte der
Tierärztlichen Fakultät

Veterinärwissenschaftliches Department

Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde,
Tierhygiene und Tierhaltung

Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-
Universität München

Veterinärstr. 13 / Gebäude R 80539 München /
Germany



Bild3 (C.FUCHS, 2017)

X. DANKSAGUNG

Als Erstes möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Michael Erhard, Leiter des Lehrstuhls für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung, für die Überlassung des Themas und die zügige Bearbeitung und Korrektur meiner Arbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Anna-Caroline Wöhr aus dem Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung für die stets freundliche und kompetente Unterstützung während der gesamten Arbeit.

Großer Dank gilt Herrn PD Dr. Sven Reese aus dem Lehrstuhl für Anatomie, Embryologie und Histologie für die statistische Auswertung meiner erhobenen Daten sowie für die wertvollen Anregungen und Korrekturen meiner Dissertation.

Auch Frau Sigrid Grad aus dem Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung möchte ich für die ständige Erreichbarkeit und Hilfe vor allem bei organisatorischen Dingen danken.

Ein großes Dankeschön gilt den Fohlen- und Stallbesitzern. Nur durch deren tatkräftige Unterstützung und entgegengebrachtes Vertrauen war das Projekt umsetzbar. Vielen Dank für die stets freundliche und unkomplizierte Zusammenarbeit.

Bei meinen Arbeitgebern Dr. Nils Adolphsen, Dr. Rüdiger Brems, Dr. Nicolas Korn und Dr. Mark Zengerling bedanke ich mich für ihre Flexibilität, ihr Verständnis und ihre Unterstützung während der Doktorarbeit.

Ein großes Dankeschön geht an meine Doktorarbeitskollegin Christina Mittermaier. Die gute Zusammenarbeit während der durchgeführten Messungen sowie der rege fachliche Austausch erleichterten die Auswertung der gewonnenen Daten enorm.

Vielen Dank auch an Juliana Berthold, Melanie Hentschke und Franziska Rettich für die zuverlässige Unterstützung während der Messungen, die technische Hilfe bei den Auswertungen und vor allem dafür, dass ihr jederzeit da wart.

Der größte Dank gilt meiner Familie und vor allem meinen Eltern für ihren Einsatz während der Messungen und für das Korrekturlesen. Vor allem aber danke ich Euch dafür, dass ihr mir das Studium in dieser Form ermöglicht habt. Ohne Euch wäre all dies nicht möglich gewesen.

Zu guter Letzt danke ich Florian Tyroller für das Fohlenhalten und die stets guten und produktiven Vorschläge während der Doktorarbeit.